



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

“REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL CON FIBRA DE CARBONO COMO ALTERNATIVA ECONÓMICA PARA AUMENTAR LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LAS COLUMNAS EN LA GALERIA COMERCIAL FULLMARKET EN EL 2019”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Carlos Ricardo Castro Zavaleta

Asesor:

Ing. Paolo Macetas Porras

Lima - Perú

2019

ACTA DE AUTORIZACION PARA SUSTENTACION DE TESIS

El asesor Ingeniero Paolo Macetas Porras, docente de la Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería, Carrera Profesional de INGENIERIA CIVIL, ha realizado el seguimiento del proceso de formulación y desarrollo de la tesis del estudiante:

❖ Carlos Ricardo Castro Zavaleta

Por cuanto, CONSIDERA que la tesis titulada: “Reforzamiento estructural con fibra de carbono como alternativa económica para aumentar la resistencia a la compresión de las columnas en la galería comercial Fullmarket en el 2019” para aspirar al título profesional de: Ingeniero Civil por la Universidad Privada del Norte, reúne las condiciones adecuadas, por lo cual, AUTORIZA al o a los interesados para su presentación.

Ing. Paolo Macetas Porras
Asesor

ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS

Los miembros del jurado evaluador asignados han procedido a realizar la evaluación de la tesis del estudiante: Carlos Ricardo Castro Zavaleta para aspirar al título de profesional con la tesis denominada: REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL CON FIBRA DE CARBONO COMO ALTERNATIVA ECONÓMICA PARA AUMENTAR LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DE LAS COLUMNAS EN LA GALERIA COMERCIAL FULLMARKET EN EL 2019.

Luego de la revisión del trabajo, en forma y contenido, los miembros del jurado concuerdan:

Aprobación por unanimidad

Aprobación por mayoría

Calificativo:

Calificativo:

Excelente [20 – 18]

Excelente [20 – 18]

Sobresaliente [17 – 15]

Sobresaliente [17 – 15]

Bueno [14 – 13]

Bueno [14 – 13]

Desaprobado

Firma en señal de conformidad:

Ing./Lic./Dr./Mg. Nombre y Apellidos

Jurado

Ing./Lic./Dr./Mg. Nombre y Apellidos

Jurado

Ing./Lic./Dr./Mg. Nombre y Apellidos

Jurado

DEDICATORIA

A Dios por haberme guiado a concretar una de mis metas y sueños. Asimismo, a mi familia, a mis hijos quienes son mi fuerza, impulso y razón de ser.

AGRADECIMIENTO

A mi asesor, el Ing. Paolo Macetas Porras, por su experiencia para orientarme en el proceso de realización de la tesis.

Asimismo, a los profesores, quienes con sus conocimientos permitieron consolidar mi formación académica y profesional.

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	4
AGRADECIMIENTO	5
TABLA DE CONTENIDOS	6
ÍNDICE DE TABLAS	9
ÍNDICE DE FIGURAS	12
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	15
RESUMEN	17
ABSTRACT.....	18
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	19
1.1. Realidad Problemática	19
<i>Formulación del problema</i>	<i>21</i>
1.2.2.1. Problema Específico 1.....	21
1.2.2.2. Problema Específico 2.....	21
1.2.2.3. Problema Específico 3.....	21
1.2.2.4. Problema Específico 4.....	22
1.2.2.5. Problema Específico 5.....	22
1.3. Antecedentes.....	22
1.4. Justificación.....	26
1.5. Objetivos.....	26
1.5.2.1. Objetivo Específico 1.....	26
1.5.2.2. Objetivo Específico 2.....	26

1.5.2.3. <i>Objetivo Específico 3</i>	26
1.5.2.4. <i>Objetivo Específico 4</i>	26
1.5.2.5. <i>Objetivo Específico 5</i>	27
1.6. Hipótesis	27
1.6.1. Hipótesis general.	27
1.6.2. Hipótesis específica.	27
1.6.2.1. Hipótesis Específica 1	27
1.6.2.2. Hipótesis Específica 2	27
1.6.2.3. Hipótesis Específica 3	28
1.6.2.4. Hipótesis Específica 4	28
1.6.2.5. Hipótesis Específica 5	28
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	29
2.1. Tipo de investigación.....	29
2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos).....	29
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	29
2.4. Procedimiento para el objetivo específico 1	31
2.4.1. Marco teórico del objetivo específico 1	31
2.4.2. Desarrollo del procedimiento del objetivo específico 1	37
2.5. Procedimiento para el objetivo específico 2.....	40
2.5.1 Marco teórico para el objetivo específico 2	40
2.5.2. Desarrollo del procedimiento del objetivo Especifico 2	45
2.6. Procedimiento para el objetivo específico 3.....	57
2.6.1 Marco teórico del objetivo específico 3	57
2.7. Procedimiento para el objetivo específico 4.....	71
2.7.1. Marco teórico del objetivo específico 4	71

2.8. Procedimiento para el objetivo específico 5.....	120
2.8.1. Marco teórico del objetivo específico 5	120
2.8.2. Desarrollo para el objetivo específico 5	121
CAPÍTULO III. RESULTADOS.....	127
3.1. Resultado del objetivo Específico 1	127
3.2. Resultado del objetivo Específico 2	127
3.3. Resultado del objetivo Específico 3	128
3.3.1. Contraste de la Prueba de Hipótesis Específica 3.....	129
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	140
4.1. Discusión	140
4.1.1. <i>Discusión del objetivo Específico 1</i>	<i>140</i>
4.1.2. <i>Discusión del objetivo Específico 2</i>	<i>140</i>
4.1.3. <i>Discusión del objetivo Específico 3</i>	<i>141</i>
4.1.4. <i>Discusión del objetivo Específico 4</i>	<i>142</i>
4.1.5. <i>Discusión del objetivo Específico 5</i>	<i>142</i>
4.2. CONCLUSIONES.....	144
4.2.1. <i>Conclusión del objetivo Específico 1</i>	<i>144</i>
4.2.1. <i>Conclusión del objetivo Específico 2.....</i>	<i>144</i>
4.3.1. <i>Conclusión del objetivo Específico 3</i>	<i>144</i>
4.1.1. <i>Conclusión del objetivo Específico 4</i>	<i>145</i>
4.1.1. <i>Conclusión del objetivo Específico 5.....</i>	<i>146</i>
5.1. RECOMENDACIONES	147
REFERENCIAS.....	148
ANEXOS.....	154
Matriz de Consistencia.....	155

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cronograma o diagrama de Gantt	30
Tabla 2. Resultado del ensayo de las muestras diamantinas.	40
Tabla 3. Pre dimensionamiento estructural del proyecto de ampliación.	45
Tabla 4. Gráfico Espectro de aceleraciones.	52
Tabla 5. Cálculo de los desplazamientos permisibles según NTE E-030.	53
Tabla 6. Cargas y momentos actuales columnas de la Galería.	54
Tabla 7. Fuerza cortante, momentos positivos y negativos máximos.	55
Tabla 8. Fuerza cortante, momentos positivos y negativos máximos.	56
Tabla 9. Propiedades mecánicas de los polímeros reforzados.	59
Tabla 10. Detalle de las muestras reforzadas con fibra de carbono.	67
Tabla 11. Resultado de las muestras reforzadas con Fibra de Carbono.	68
Tabla 12. Datos de la Fibra de Carbono.	70
Tabla 13. Verificación de aumento de resistencias Norma ACI 440 2R 17.	71
Tabla 14. Factores de reducción de resistencia	82
Tabla 15. Diagrama de espectro de aceleraciones.	92
Tabla 16. Cálculo de los desplazamientos permisibles según E-030 RNE.	93
Tabla 17. Carga axial de columnas C1 sótano de la galería.	95
Tabla 18. Carga axial columnas C1 1er. piso de la galería.	96
Tabla 19. Solicitaciones máximas para las vigas del sótano.	99
Tabla 20. Solicitaciones máximas para las vigas del primer nivel.	100
Tabla 21. Fuerza cortante, momentos positivos y negativos máximos.	100
Tabla 22. Resistencias requeridas para rigidizar la estructura.	103
Tabla 23. Desplazamientos de la estructura luego de aplicados los perfiles de Acero.	104
Tabla 24. Solicitaciones de resistencias para columnas Proyecto de Ampliación.	105
Tabla 25. Geometría de la columna.	107
Tabla 26. Datos de los materiales de la columna.	107

Tabla 27. Acero de refuerzo de la columna.	108
Tabla 28. Propiedades de la fibra de carbono CFRP.	108
Tabla 29. Factores para el cálculo del Reforzamiento.....	108
Tabla 30. Carga Axial Columna no Reforzada - PUNTO A.	109
Tabla 31. Distancia del eje neutro Columna no Reforzada - Punto B	109
Tabla 32. Coeficientes Columna no Reforzada - PUNTO B.	109
Tabla 33. Cálculo fuerza y deformación Columna no Reforzada - PUNTO B.	109
Tabla 34. Carga Axial y Momento - PUNTO B	110
Tabla 35. Distancia del eje neutro - PUNTO C	110
Tabla 36. Coeficientes calculados - PUNTO C.	110
Tabla 37. Cálculo de fuerzas y deformaciones Columna no Reforzada – PUNTO C	110
Tabla 38. Carga Axial y momento - PUNTO C	111
Tabla 39. Resistencias Columna Reforzadas - PUNTO A.....	111
Tabla 40. Carga Axial Columna Reforzada - PUNTO A	111
Tabla 41. Resistencias Columna Reforzada – PUNTO B.....	111
Tabla 42. Distancia del eje neutro Columna Reforzada – PUNTO B	112
Tabla 43. Coeficientes calculados Columna Reforzada – PUNTO B	112
Tabla 44. Cálculo de fuerzas y deformaciones Columna Reforzada - PUNTO B	112
Tabla 45. Carga Axial y Momentos columna Reforzada - PUNTO B	112
Tabla 46. Distancia del eje neutro columnas Reforzadas - PUNTO C	113
Tabla 47. Coeficientes calculados columna Reforzada – PUNTO C.....	113
Tabla 48. Cálculo de fuerzas y deformaciones Columna Reforzada - PUNTO C	113
Tabla 49. Carga Axial y momentos – Punto C.....	113
Tabla 50. Cálculo de resistencia hasta 427,76 Ton.....	114
Tabla 51. Columnas con nuevas solicitaciones reforzadas con CFRP	115
Tabla 52. Cálculo de cargas hasta 317.88 Ton.	116
Tabla 53. Cálculo de cargas hasta 345,35 Ton.	117
Tabla 54. Cálculo de cargas hasta 372,82 Ton.	118
Tabla 55. Cálculo de cargas hasta 400,29 Ton.	119

Tabla 56. Costo de reforzamiento con encamisado Acero Concreto 12 columnas.....	124
Tabla 57. Costo del reforzamiento con Fibra de Carbono	126
Tabla 58. Columnas con nuevas solicitaciones reforzadas con CFRP	127
Tabla 59. Carga Axial y Momentos columna C1.....	127
Tabla 60. Resultado de muestras reforzadas con CFRP de Laboratorio.....	128
Tabla 61. Resultado ACI 440 2R 17 de muestras reforzadas con CFRP.....	129
Tabla 62. Corrección de significación de Lilliefors.....	130
Tabla 63. Resultados de la prueba de Homogeneidad y la prueba T-Student.....	131
Tabla 64. Columnas no circulares con nuevas solicitaciones reforzadas con CFRP.....	135
Tabla 65. Resistencias actuales, requerida y solicitada y reforzada para el proyecto	136
Tabla 66. Corrección de significación de Lilliefors.....	137
Tabla 67. Estadísticas muestras relacionadas	137
Tabla 68. Prueba muestras relacionadas	138
Tabla 69. Costos de reforzamiento de 12 columnas.	138
Tabla 70. Código Alemán de CFRP para columnas no circulares.	141
Tabla 71. Costos de reforzamiento de 12 columnas.	143
Tabla 72. Resistencia de columnas en la galería.	144
Tabla 73. Columnas con nuevas solicitaciones reforzadas con CFRP	145
Tabla 74. Desplazamientos rigidizados.	145

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Concreto pre mezclado.....	34
Figura 2. Muestra de concreto armado en columnas y losa.....	34
Figura 3. Muestra de concreto antes y después de fraguado.	35
Figura 4. Vigas y losas de concreto afectadas por corrosión.	36
Figura 5. Acero oxidado en concreto armado.....	36
Figura 6. Fisuras al concreto armado.	37
Figura 7. Columnas intervenidas para extracción de muestras.....	38
Figura 8. Extracción de muestra de concreto, sótano de la galería	39
Figura 9. Muestra de concreto extraído de una columna	39
Figura 10. Etapas para el diseño estructural.	42
Figura 11. Muestra gráfica 3D del programa ETABS.	44
Figura 12. Galería Comercial Full Market del distrito de Lince-Lima.....	46
Figura 13. Plano de planta Sótano de la Galería	46
Figura 14. Plano de planta 1er. Piso de la Galería	47
Figura 15. Plano de planta 2do. Piso de la galería	47
Figura 16. Plano de planta techo de la galería	48
Figura 17. Modelo estructural elaborado en el software ETABS 16.2.1.....	50
Figura 18. Planta sótano elaborado en el software ETABS 16.2.1	51
Figura 19. Espectro de aceleraciones previo a la ampliación	53
Figura 20. Diagrama Interacción Carga-Momento Columna, C1 (45x45cm.)	55
Figura 21. Verificación del máximo momento soportado por la viga.....	56
Figura 22. Verificación de las vigas de cimentación.....	56
Figura 23. Muestra de pegamento epoxico.	60
Figura 24. Reforzamiento de viga Edificio Chocavento – San Isidro.....	61
Figura 25. Aplicación de fibra en columna. Plaza Vea Higuiereta Surco.	62
Figura 26. Reparación columna del tren eléctrico	62
Figura 27. Fibra de Carbono en manta y en cinta.	63

Figura 28. Muestras de concreto $f_c = 210\text{kg/cm}^2$	66
Figura 29. Muestra de concreto reforzada con Fibra de Carbono.....	67
Figura 30. Muestra de concreto con CFRP para ensayo.....	67
Figura 31. Muestra reforzada después de ensayada	68
Figura 32. Compresión pura, excentricidad y aumento de excentricidad.....	72
Figura 33. Elemento sometido a Flexo compresión.	74
Figura 34. Gráfico de condición balanceada.	74
Figura 35. Diagrama de interacción de columna	75
Figura 36. Área de confinamiento de columna circular.....	76
Figura 37. Área de confinamiento de columna no circular.....	76
Figura 38. Diagrama de interacción de columna con y sin reforzamiento.....	81
Figura 39. Diagrama de interacción de columna con y sin confinamiento	84
Figura 40. Diseño 3D del Proyecto de ampliación.....	86
Figura 41. Planta típica 3er. y 4to. Nivel proyecto de ampliación.....	87
Figura 42. Corte A-A Galería Fullmarket Ampliación de 2 niveles.	87
Figura 43. Vista de planta de sección típica del edificio de estudio.	88
Figura 44. Modelo estructural elaborado en el software ETABS 16.2.1.....	90
Figura 45. Planta sótano de la galería elaborado en el software ETABS 16.2.1.	91
Figura 46. Espectro de aceleraciones con ampliación	92
Figura 47. Cargas axiales sobre las columnas del eje C.....	94
Figura 48. Diagrama de interacción Columnas sótano.....	95
Figura 49. Columnas del sótano que requieren reforzamiento.....	96
Figura 50. Diagrama de Interacción Columnas Primer piso	97
Figura 51. Columnas del 1er. piso que requieren reforzamiento.....	97
Figura 52. Momentos flectores sobre las vigas del eje C	98
Figura 53. Verificación de resistencia y máximo momento de la viga en el eje C.....	99
Figura 54. Verificación del máximo momento soportado por la viga de cimentación.....	101
Figura 55. Acero del tipo ASTM A-572 GR 50 - WF	102
Figura 56. Estructura de rigidización con perfiles de acero en los ejes A-B y 1-2.	102

Figura 57. Columna tipo C1 de la galería	107
Figura 58. Diagrama de interacción con curva bilineal.....	114
Figura 59. Diagrama de Interacción para cargas hasta 317.88 Ton.	116
Figura 60. Diagrama de Interacción para cargas hasta 345,35 Ton.	117
Figura 61. Diagrama de Interacción para columna reforzada hasta 372,82 Ton.	118
Figura 62. Diagrama de Interacción para columna reforzada hasta 400,29 Ton.	119
Figura 63. Columna con sección ampliada 70x70 cm.	121
Figura 64. Diagrama de interacción columna 0.70x0.70 mt.	122
Figura 65. Plano de Apuntalamiento Sótano de la galería	122
Figura 66. Plano de apuntalamiento 1er. piso de la galería	123
Figura 67. Diagrama de reforzamiento con Acero Concreto.	123
Figura 68. Diagrama de inserción de columna viga para reforzamiento	124
Figura 69. Reforzamiento con encamisado acero concreto.	125
Figura 70. Apuntalamiento columna.	125
Figura 71. Aplicación de Fibra de Carbono en Columnas.	126
Figura 72. Diagrama de Interacción Carga-Momento Columna C1 (45x45cm.)	128
Figura 73. Columnas del sótano y 1er. piso que requieren reforzamiento	133
Figura 74. columnas en el sótano que requieren reforzamiento.	133
Figura 75 columnas en 1er. piso que requieren reforzamiento	133
Figura 76. Rigidización de los desplazamientos	134

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Factores de Zona, Uso, Suelo eje (x)	52
Ecuación 2. Factores de Zona, Uso, Suelo eje (y)	52
Ecuación 3. Concreto reforzado.....	69
Ecuación 4. Máxima resistencia del concreto reforzado.....	69
Ecuación 5. Deformación máxima del CFRP.....	69
Ecuación 6. Factor de eficiencia del CFRP basado en f'_{cc}	77
Ecuación 7. Factor de eficiencia del CFRP basado en ϵ_{ccu}	77
Ecuación 8. Máxima presión de confinamiento	77
Ecuación 9. Diagonal de la sección transversal	78
Ecuación 10. Área efectiva de confinamiento.....	78
Ecuación 11. Resistencia a la tracción del CFRP.....	79
Ecuación 12. Resistencia máxima a compresión del concreto reforzado	79
Ecuación 13. Máxima presión de confinamiento	79
Ecuación 14. Radio y relación de acero de refuerzo longitudinal.....	80
Ecuación 15. Cálculo del número de capas de CFRP.....	80
Ecuación 16. Deformación unitaria de concreto confinado	80
Ecuación 17. Carga Axial pura columnas circulares con CFRP	81
Ecuación 18. Carga Axial pura columnas no circulares con CFRP	81
Ecuación 19. Carga nominal concreto no confinado	82
Ecuación 20. Cálculo de esfuerzo deformación.....	82
Ecuación 21. Resistencia máxima confinada	83
Ecuación 22. Nivel efectivo de la deformación	83
Ecuación 23. Deformación máxima	84
Ecuación 24. Calculo deformación del concreto reforzada.	85
Ecuación 25. Calculo Momento del concreto confinado.....	85
Ecuación 26. Compresión en X de acero AST-572 GR50.....	103
Ecuación 27. Compresión en Y de acero AST-572 GR50.....	103
Ecuación 28. Calculo coeficiente A para CFRP.....	106

Ecuación 29. Calculo coeficiente B para CFRP.....	106
Ecuación 30. Calculo coeficiente C para CFRP.	106
Ecuación 31. Calculo coeficiente D para CFRP.	106
Ecuación 32. Calculo coeficiente E para CFRP.....	106
Ecuación 33. Calculo coeficiente F para CFRP.....	106
Ecuación 34. Calculo coeficiente G para CFRP.	107
Ecuación 35. Calculo coeficiente H para CFRP.	107
Ecuación 36. Calculo coeficiente I para CFRP.....	107

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo general determinar de qué manera el reforzamiento estructural con fibra de carbono (CFRP) Carbón Fiber Reinforced Polymer, aumenta la resistencia a la compresión de las columnas, necesario para llevar adelante un proyecto de ampliación de dos niveles adicionales en una galería comercial en funcionamiento ubicada en el distrito de Lince, Lima-Perú, construida en un terreno de 625 m² (25x25), que cuenta con un sótano con 14 estacionamientos, un primer y segundo piso con 82 locales comerciales de 6 y 8 m².

Un pre-dimensionamiento estructural para el proyecto de ampliación determinó que, para la construcción de dos pisos adicionales su estructura actual tendría que ser reforzada. El presente trabajo desarrolla el reforzamiento de las columnas con fibra de carbono, demostrando como adherido externamente con un adhesivo epóxico aumenta su resistencia a compresión. Los estudios realizados a este material revelan que es entre 7 a 10 veces más resistente a la tracción que el acero grado 60. Asimismo, pruebas realizadas en el laboratorio con muestras cilíndricas de concreto reforzadas con fibra de carbono demostraron el aumento de resistencia a compresión del concreto.

El reforzamiento con fibra de carbono en muestras cilíndricas de concreto ensayados en laboratorio y su posterior verificación con la norma ACI 440 2R 17, demostró que mediante su aplicación se eleva la resistencia de las columnas, se reduce el uso de materiales, no requiere de grandes espacios para el almacenamiento de material y la generación de desperdicios o material de desmonte es reducido.

Finalmente, se concluye que la investigación cumplió su cometido al incrementar la resistencia de las columnas de la galería Fullmarket. Este estudio de investigación demuestra como el reforzamiento estructural con fibra de carbono ante una mayor sollicitación de resistencia, soluciona este requerimiento y no entorpece ni paraliza el normal funcionamiento de la galería. Por último, el ahorro económico generado por el CFRP asciende a S/.30,707.33 por proyecto, es decir, un 58.4% menor que un reforzamiento concreto acero.

Palabras clave: Reforzamiento estructural, fibra de Carbono, mejora de los procesos.

ABSTRACT

The purpose of this research is to determine in what way the structural reinforcement with carbon fiber (CFRP) Carbon Fiber Reinforced Polymer, increases the resistance to the understanding of the columns, necessary to carry out a project of expansion of two additional levels in a Commercial gallery in operation located in the district of Lince, Lima-Peru, built on a plot of 625 m² (25x25), has a basement with 14 parking spaces, a first and second floor with 82 commercial premises of 6 and 8 m².

A structural pre-dimensioning for the expansion project determined that, for the construction of two additional floors, its current structure would have to be reinforced. The present work develops the reinforcement of the columns with carbon fiber, demonstrating how adhered externally with an epoxy adhesive increases its compressive strength. Studies on this material reveal that it is between 7 and 10 times more tensile resistant than 60 grade steel. Also, tests carried out in the laboratory with cylindrical samples of concrete reinforced with carbon fiber demonstrated the increase in compressive strength of concrete. .

The reinforcement with carbon fiber in cylindrical samples of concrete tested in the laboratory and its subsequent verification with the ACI 440 2R 17 standard, showed that through its application the resistance of the columns is raised, the use of materials is reduced, it does not require large spaces for the storage of material and the generation of waste or waste material is reduced.

Finally, it is concluded that the investigation fulfilled its mission by significantly increasing the resistance of the columns of the Fullmarket gallery. This research study demonstrates how the structural reinforcement with carbon fiber in the face of a greater resistance request, solves this requirement and does not hinder or paralyze the normal functioning of the gallery. Finally, the economic savings generated by the CFRP amount to S/.30,707.33 per project, that is, a 58.4% variation between concrete reinforcement steel and carbon fiber.

Keywords: Structural reinforcement, Carbon fiber, process improvement.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad Problemática

En la actualidad, a nivel mundial existen miles de edificaciones como puentes, edificios, viviendas, colegios, hospitales etc., que por sus años de construcción o cambio en su uso requieren de reforzamiento para aumentar su vida útil. Dado el vertiginoso crecimiento de la población, los usos que se les otorga a dichas construcciones, como la necesidad intrínseca, parte del desarrollo económico de toda sociedad industrializada. El reforzamiento de edificaciones es una razón para estar siempre en búsqueda permanente de nuevos métodos y materiales que puedan ser usados para remodelarlas o reforzarlas. Hoy en día es factible encontrar una diversidad de productos fundamentados en materiales compuestos como los polímeros reforzados tales como la Fibra de Vidrio GFRP, la Fibra de Aramida AFRP y especialmente la Fibra de Carbono CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer).

Según Alderton (2018) la fibra de carbono es un material compuestos más prometedor en referencia al futuro de la construcción. Es un polímero formado de filamentos muy finos y largos de átomos de carbono unidos en una formación de cristal, más finos que un cabello humano, más liviano que el acero, al menos cinco veces más resistente y el doble de rígido. Esas características lo hacen popular en los fabricantes, que unen y trenzan los filamentos, para después de tejidos fabricar mantas como si fuesen de lana, o se moldean en su forma final. Dada la aplicación de la Fibra de Carbono para reforzamiento de elementos estructurales, esta permite en el caso de vigas incrementar la ductilidad, en el caso de columnas aumenta la rigidez y la resistencia al corte, en el caso de muros y losas aumenta la resistencia, rigidez y limita las deformaciones. Esto se puede realizar con las estructuras en servicio y también donde el espacio de trabajo es muy reducido.

Según Fibrwrap Perú (2019) a mediados de la década del ochenta, la tecnología basada en la fibra de carbono en el mundo ha liderado la industria del reforzamiento y reparación estructural a través elementos adheridos conocidos como polímeros reforzados con fibras (FRP). En el Perú existe desde el año 2000 empresas abocadas a la distribución y comercialización de este elemento aplicado para edificaciones y la reparación de estructuras. Por su parte, el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) señala que la población en el Perú al 2018 es de 32 162 184 de habitantes, lo cual evidencia el continuo crecimiento poblacional. Específicamente, en Lima Metropolitana se concentra casi un tercio de la población peruana que asciende a 9 millones de habitantes aproximadamente, la cual en algún momento empieza a requerir un espacio donde vivir;

muchas personas o familias adquieren o se posesionan en un lote de terreno para luego proceder a autoconstruir con fines no solo de vivienda sino también de actividades para el comercio.

De acuerdo con Angulo (2017) el 70% de las viviendas en Lima son informales, se construyen sin el asesoramiento técnico profesional, resultando un riesgo en el futuro ante cualquier movimiento sísmico. Este tipo de viviendas autoconstruidas en su mayoría son las que en un futuro cercano van a requerir de reforzamiento para poder prolongar su vida útil antes de ser demolidas, también están las edificaciones que desean cambiar su razón de uso, así como las que deseen crecer verticalmente que requieran de reforzamiento de estructuras. Es el caso, por ejemplo, de edificaciones comerciales en el Perú y específicamente en Lima por su alta concurrencia y planes de crecimiento o ampliación de puestos comerciales que también requerirán en un futuro muy cercano de reforzamiento para que puedan seguir operando. En algunos casos el reforzamiento estructural con acero concreto no es posible, porque estas edificaciones se encuentran habitadas o en funcionamiento y la rotura de vigas, columnas y/o losas no es procedente. Una alternativa de solución es el reforzamiento con Fibra de Carbono, dado que su aplicación permite el aumento de la resistencia, rigidez y ductilidad requerida y no cambia el diseño arquitectónico de la edificación.

En el contexto local como parte de la presente investigación, se cuenta con Fullmarket que es una galería situada en el distrito de Lince, provincia de Lima, que ha sido construida en un terreno de 625 m² (25x25 m), la edificación tiene un sótano con 14 estacionamientos, un primer nivel con 39 stand y un segundo nivel con 43 stand de 6 y 8.56 m² cada uno; todos dedicados al comercio.

En los aires de la galería se ha proyectado construir 2 niveles adicionales destinados al uso de oficinas. Un pre-dimensionamiento estructural para el proyecto de ampliación evidenció fallas potenciales en la resistencia de las columnas; ante este resultado se decidió realizar un estudio de la resistencia de la estructura actual de la galería, concluyendo que la estructura existente es rígida y competente estructuralmente. Se realizó también un estudio estructural para el proyecto de ampliación de dos niveles más, se trató de un nuevo modelo estructural con las mismas características mecánicas asumidas para el edificio existente encontrando deficiencia en la resistencia de las columnas para las nuevas solicitaciones, también valores que señalaron una fuerte excentricidad en las dos direcciones (X e Y), es decir que entre el centro de masa y el centro de rigidez existe una gran distancia, lo que generará una importante torsión en cada planta de la edificación no cuantificables ni predecibles por los métodos comúnmente usados para el análisis sísmico de edificios. En tanto, para las cargas axiales que recibirá una de las columnas centrales del sótano en el eje C-2 sería de 400 Toneladas con lo cual el área de columna sería 4 233 cm² mayor a la actual que es 2 025 cm². El resultado final fue que para la construcción de los 2 pisos adicionales la estructura tal como está diseñada no soportaría las nuevas cargas y desplazamientos; de continuar

con el proyecto sin reforzar las columnas la estructura en su conjunto colapsaría poniendo en riesgo vidas humanas, pérdidas económicas y el fracaso del proyecto. El problema se ubica en la capacidad de resistencia de las columnas, con una resistencia actual de 210 kg/cm^2 y de $0,45 \times 0,45 \text{ m}$ de sección y la nueva resistencia requerida es de 210 kg/cm^2 con una sección de $0,65\text{m} \times 0,65\text{m}$. El análisis estructural determino reforzamiento en 8 columnas en el sótano y 4 columnas en el 1er. piso para cumplir con las nuevas solicitaciones de carga.

Para solucionar la falta de resistencia en las columnas se decidió reforzarlas externamente, confinándolas con Fibra de Carbono unidireccional en manta elevando la resistencia a lo solicitado por el proyecto de ampliación. En el presente estudio se demuestra que la fibra de carbono al ser aplicada externamente con una resina epóxica, eleva la resistencia de las columnas.

Formulación del problema

1.1.1. Problema general

¿De qué manera el reforzamiento estructural con fibra de carbono (CFRP) aumenta la resistencia a la compresión de las columnas y cuál es el impacto económico que genera el reforzamiento de estas, en la galería comercial Fullmarket, 2019?

1.1.2. Problemas específicos

1.2.2.1. Problema Específico 1

¿Cuál es la resistencia actual del concreto de aplicarse la prueba Diamantina en la galería comercial Fullmarket, 2019?

1.2.2.2. Problema Específico 2

¿Cuál es la funcionalidad actual de la edificación basado en un análisis estructural según el RNE en cuanto a sus cargas y desplazamientos en la galería comercial Fullmarket, 2019?

1.2.2.3. Problema Específico 3

¿Cuál es el diseño de refuerzos mediante la aplicación de Fibra de Carbono (CFRP) para las columnas de la galería Fullmarket, 2019?

1.2.2.4. Problema Específico 4

¿En qué medida la aplicación de refuerzos de la Fibra de Carbono mejora la resistencia ante la ampliación de dos niveles adicionales según el análisis estructural realizado en la galería comercial Fullmarket, 2019?

1.2.2.5. Problema Específico 5

¿Cuál es el impacto económico del reforzamiento de las columnas con Fibra de Carbono (CFRP) de la galería comercial Fullmarket 2019?

1.3. Antecedentes

1.3.1. Antecedentes internacionales

La investigación realizada por Guaño (2018) denominada, *Estudio de la influencia de los sistemas de reforzamiento, mediante un análisis estructural, para mejorar la respuesta sismo resistente del edificio de la Contraloría General del Estado-Regional 1*, para optar por el título de Magister en estructuras y Ciencias de los Materiales, desarrollada en la Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad Central del Ecuador, tuvo como objetivo principal Establecer los sistemas de reforzamiento estructural más convenientes para mejorar el comportamiento sismo resistente del edificio Regional 1 de la Contraloría General del Estado. Los resultados evidenciaron que la hipótesis planteada de reforzamiento estructural con fibra de carbono influye favorablemente en el comportamiento sismo-resistente de edificios existentes, modificando su resistencia y ductilidad de la estructura y capacidad de resistir cargas en el rango elástico, además de disminuir el período de vibración y derivas de piso existentes, mejorando positivamente el desempeño.

Finalmente, se concluyó que el uso del Fibra de Carbono CFPR, mejora el comportamiento sismo resistente de la 176 estructura objeto de análisis, además de aumentar el cortante basal, disminuir el período de vibración, permite cumplir con los objetivos de rehabilitación de manera rápida. Con el uso de la fibra de carbono CFPR existe poca incidencia en el peso propio de la estructura en comparación al resto de sistemas de reforzamiento evaluados, mejora la conducta sismo resistente de la estructura, teniendo en cuenta que incide directamente en el valor de las fuerzas horizontales.

La investigación efectuada por Arias (2018) denominada *Análisis comparativo de muros de mampostería reforzada con y sin fibra de carbono*, para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción, desarrollada en el Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería en Construcción de Costa Rica. Tuvo como objetivo principal estudiar el comportamiento de muros de bloques de concreto con reforzamiento a base de sistemas de fibras de carbono.

Comparando con un muro modelo los requerimientos del CSCR (Código Sísmico de Costa Rica), el estudio se limitó a la aplicación de carga lateral monotónica creciente, para así conocer la capacidad a cortante y flexión de los especímenes, así como el desplazamiento generado por estas aplicaciones de carga. Los resultados evidenciaron diferencia entre las tres muestras de muros de mampostería evaluadas, dos de ellas reforzadas con fibra de carbono mostraron aumento en su resistencia en un 55% y 27% respectivamente, atribuyendo dicho incremento a las propiedades brindadas por la fibra de carbono. Finalmente, se concluyó que la aplicación fibra de carbono en muros de mampostería aumenta la resistencia y la rigidez, medida mediante el desplazamiento.

En el trabajo de investigación realizada por Silva (2016) denominada *Refuerzo Estructural con Fibra de Carbono*, para optar por el título de Ingeniero Civil, desarrollada en la Universidad San Francisco de Quito, Ecuador. Tuvo como objetivo principal comparar teóricamente en base a ensayos experimentales, la resistencia a la tracción de la fibra de carbono con probetas de acero reforzado con fibras de carbono para determinar si se obtiene una mejora en la resistencia de este elemento estructural. Los resultados evidenciaron que la fibra de carbono adherida con resina epóxica a las probetas de acero elevaron en todos los casos su resistencia a la tracción. Finalmente, se concluyó que la fibra de carbono aplicada con la resina epóxica se adhiere con mucho éxito en las superficies del concreto. Asimismo, menciona el autor, que la resistencia del concreto aumenta de forma asombrosa, sobre todo conociendo que la resistencia a tracción del concreto es de 40 kg/m² mientras que la resina epóxica es de 400 kg/cm².

El trabajo de investigación desarrollado por Vega (2015) titulado *Comportamiento dinámico de muros de mampostería no estructural reforzados mediante polímeros reforzados con fibra de carbono, CFRP*, para optar el título de Magister en Ingeniería Civil con énfasis en Ingeniería Estructural, de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garabito de Colombia, tuvo como objetivo principal calcular la conducta en el plano de muros de mampostería no estructurales ante cargas cíclicas con dos relaciones altura/longitud externamente reforzados mediante polímeros de Fibra de Carbono (CFRP). Para la cual, se construyeron 14 muros de mampostería de ladrillo de arcilla No.5 a escala real, usado comúnmente en este tipo de edificaciones; 7 de los cuales tenían dimensiones de 1,23 m de largo por 1,90 m de alto y 7 de 2,47 m de largo por 1,90 m de alto. Fueron ensayados 8 muros con carga lateral estática y 6 con carga lateral cíclica en su plano. La conducta de los muros en cuanto a comportamiento histérico, carga máxima, ductilidad y degradación de rigidez fueron comparadas. Los resultados revelan que la fibra de carbono aumentó la capacidad de carga última de los muros de manera significativa, disminuyó la fragilidad de falla a progresivas, logrando mejorar el nivel de desempeño.

Finalmente, se concluyó que la fibra de carbono en manta usados en el reforzamiento estructural contribuye significativamente a mejorar el desempeño de estas edificaciones frente a sollicitaciones de diferente índole, en especial, las producidas por sismos, logrando aumento en la resistencia de hasta 18.8 veces; uno de los especímenes cortos sin refuerzo presentó un carga de

falla de 1.3 KN y el mismo espécimen reforzado alcanzó una carga de falla de 24.4 KN en el ensayo dinámico, lo cual demuestra la gran contribución de la fibra de carbono.

El trabajo de investigación realizado por Jácome (2016) titulado *Determinación de las técnicas de reforzamiento para mejorar el desempeño estructural de un edificio mixto*, en la tesis para optar el título de Ingeniero Civil, desarrollada en la Universidad Técnica de Ambato en Ecuador. Tuvo como objetivo determinar las técnicas de reforzamiento para mejorar el desempeño estructural de una edificación mixta, analizándose la situación actual de la edificación para conocer su sistema estructural y poder determinar un método de reforzamiento. En el proceso de evaluación estructural, se usaron ensayos esclerométricos para el análisis de estructuras y reforzamiento utilizando el sistema FRP (Fibras Reforzadas con Polímeros), las resistencias obtenidas de los elementos estructurales fueron, en losas 292.78 Kg/cm², en vigas 209.84 Kg/cm² y en escaleras 240.92 Kg/cm²; el promedio total de la estructura es de 247.85 Kg/cm² a la compresión en losas, vigas y escaleras. Los resultados determinaron que el uso de fibra de carbono FRP en columnas y vigas, como método de reforzamiento se destaca por ser un material ligero y de rápido empleo adaptable a cualquier superficie. Asimismo, finalmente se concluye que su aplicación en elementos estructurales incrementa la resistencia en un 40%.

1.3.2. Antecedentes nacionales

La investigación realizada por Aquino (2019) titulado *Variación de la resistencia a la flexión de vigas de concreto armado reforzadas con láminas de fibras de carbono (CFRP)*, para optar el título profesional de ingeniero civil de la Universidad de Cajamarca en Perú. Tuvo como principal objetivo, diagnosticar la variación de la resistencia a la flexión de vigas de concreto armado reforzadas con láminas de fibras de carbono (CFRP). Los resultados concluyeron que en los dos tipos de vigas patrones elaboradas, las reforzadas con fibra de carbono en cinta (CFRP) evidenciaron un aumento en su resistencia a la flexión con respecto a la no reforzadas. La viga patrón tipo I no reforzada alcanzó una resistencia a flexión de 3.99 Ton., y la reforzada, 6.53 Ton. La viga tipo II no reforzada alcanzó una resistencia a la flexión 4.36 Ton., y la reforzada 6.96 Ton. Se comprobó que la fibra de carbono en cinta aplicada a las vigas aumenta la resistencia a la flexión y la ductilidad, evitando las deflexiones excesivas.

En el trabajo de investigación desarrollado por Calla (2017) titulado *Evaluación y reparación estructural con Fibra de Carbono de la superestructura del Puente la Capilla - Moquegua*, para optar el título profesional de ingeniera civil de la Universidad Católica de Santa María en Moquegua Perú. Tuvo como principal objetivo, poner en servicio lo antes posible el puente La Capilla y poder cumplir las metas del proyecto. Los resultados evidenciaron que el tipo de fisuras encontradas no corresponden a asentamiento diferenciados ya que los esfuerzos transmitidos a nivel de fundación son de 0.4kg/cm² y 0.92kg/cm², respectivamente siendo inferiores a la capacidad portante admisible 3.45kg/cm². El presente trabajo comparó los cálculos obtenidos con el expediente técnico

del proyecto, concluyendo que el daño en la superestructura es por errores en el diseño. Se comprobó que el reforzamiento estructural con fibra de carbono FRP a flexión y corte, es una alternativa muy eficiente, económica y fácil de instalar, en comparación a las planchas de acero o ensanchamiento de la sección del concreto armado las que resultan en costos de 2 a 3 veces mayores, además del tiempo de ejecución.

La investigación realizada por Alegre (2017) titulado *Estudio de la influencia en la resistencia y ductilidad de las fibras de carbono utilizadas como reforzamiento de vigas de concreto armado*, para optar el título profesional de ingeniero civil de la Pontificia Universidad Católica del Perú en Lima. Tuvo como principal objetivo, determinar el comportamiento elástico e inelástico de vigas de concreto armado sometidas a flexión y reforzadas con fibras de carbono. Los resultados determinaron que el reforzamiento con fibra de carbono (CFRP) aumenta la resistencia de las secciones de concreto armado sometidas a flexión. Se evidenció que el aumento de resistencia a flexión llega al 58.9% para la sección con menor cuantía de acero, y para la sección de mayor cuantía de acero, el aumento de resistencia alcanza un valor de 18.4%. Se comprobó que el reforzamiento con fibra de carbono es lineal hasta el estado de falla, reduciendo la ductilidad de la viga por lo que se considera un material frágil.

La investigación efectuada por Flores Baldeón (2015) titulada *Incremento de la capacidad de columnas de concreto con la adición de confinamiento externo con mantas de fibra de carbono*, para optar el título profesional de Ingeniero Civil, en la Universidad Nacional de Ingeniería en Lima, Perú. Tuvo como objetivo principal, analizar teóricamente el aumento de capacidad de columnas de concreto mediante la aplicación externa de mantas de fibra de carbono. Del ensayo de probetas cilíndricas de 12" x 6" se obtuvo la resistencia a compresión del concreto. Las muestras se cargan lenta y longitudinalmente para alcanzar la deformación máxima en 2 o 3 minutos. La curva esfuerzo-deformación se obtiene de este ensayo, en el cual se relaciona la fuerza de compresión por unidad de área versus el acortamiento por unidad de longitud. Los resultados determinaron que, el reforzamiento con FRP incrementa la resistencia y la ductilidad del elemento estructural, su fallo es frágil, explosivo y abrupto, se comprobó que el aumento de la máxima capacidad a momento es menor que el factor de flexo compresión dando lugar a un fallo dúctil de flexión. Finalmente, se concluye que la resistencia y el factor de ductilidad varían con el aumento de capas de fibra de carbono.

1.4. Justificación

La investigación propuesta encuentra su fundamento en tres aspectos: primero, el teórico, porque se utilizarán conceptos y terminologías referidas al uso de la fibra de carbono en el reforzamiento estructural del concreto armado de edificaciones. Segundo, práctico, porque tiene como fin incrementar la resistencia en las columnas, elementos estructurales, sin aplicar métodos destructivos para su reforzamiento. Tercero, metodológico, porque los resultados obtenidos a través del proceso de experimentación servirán de base para el desarrollo de otras investigaciones y que, de su aplicación, prolongue la vida útil de las estructuras, brinde mayor rigidez y por ende, garantice su sostenibilidad en el tiempo y Cuarto económica, la importancia de esta investigación está dada por la búsqueda intencional de generar un ahorro económico para los grupos de interés del proyecto en cuestión, de manera que se garantice no solo su viabilidad técnica sino económica

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Determinar de qué manera el reforzamiento estructural con fibra de carbono (CFRP) aumenta la resistencia a la compresión de las columnas y genera ahorro económico en la galería comercial Fullmarket, 2019.

1.5.2. Objetivos específicos

1.5.2.1. *Objetivo Específico 1*

Determinar la resistencia actual del concreto de las columnas mediante prueba de Diamantina en la galería comercial Fullmarket, 2019.

1.5.2.2. *Objetivo Específico 2*

Identificar mediante un análisis estructural la funcionalidad actual de la galería comercial Fullmarket, 2019, de acuerdo con el RNE en cuanto a sus cargas y desplazamientos.

1.5.2.3. *Objetivo Específico 3*

Diseñar los refuerzos con la aplicación de la Fibra de Carbono (CFRP) para las columnas de la galería Fullmarket, 2019.

1.5.2.4. *Objetivo Específico 4*

Identificar en qué medida la aplicación de refuerzos de la Fibra de Carbono mejoran la resistencia ante la ampliación de dos niveles adicionales según el análisis estructural realizado en la galería comercial Fullmarket, 2019.

1.5.2.5. Objetivo Específico 5

Determinar el impacto económico del reforzamiento de columnas con Fibra de Carbono (CFRP) en la galería comercial Fullmarket, 2019.

1.6. Hipótesis

1.6.1. Hipótesis general.

H_0 : El reforzamiento estructural con fibra de carbono (CFRP) no aumenta la resistencia a la compresión de las columnas y genera ahorro económico en su reforzamiento, en la galería comercial Fullmarket, 2019.

H_1 : El reforzamiento estructural con fibra de carbono (CFRP) sí aumenta la resistencia a la compresión de las columnas y genera ahorro económico en su reforzamiento, en la galería comercial Fullmarket, 2019.

1.6.2. Hipótesis específica.

1.6.2.1. Hipótesis Específica 1

H_0 : La resistencia del concreto actual no es determinada adecuadamente mediante la prueba diamantina en la galería comercial Fullmarket, 2019.

H_1 : La resistencia del concreto actual es determinada adecuadamente mediante la prueba diamantina en la galería comercial Fullmarket, 2019.

1.6.2.2. Hipótesis Específica 2

H_0 : La resistencia de la estructura actual mediante el análisis estructural no cumple con su funcionalidad de acuerdo con el RNE en cuanto a sus cargas y desplazamientos en la galería comercial Fullmarket, 2019.

H_1 : La resistencia de la estructura actual mediante el análisis estructural sí cumple con su funcionalidad de acuerdo con el RNE en cuanto a sus cargas y desplazamientos en la galería comercial Fullmarket, 2019.

1.6.2.3. Hipótesis Específica 3

H_0 : El diseño de refuerzos mediante la aplicación de la Fibra de Carbono (CFRP) no es adecuado para las columnas de la galería Fullmarket, 2019.

H_1 : El diseño de refuerzos mediante la aplicación de la Fibra de Carbono (CFRP) es adecuado para las columnas de la galería Fullmarket, 2019.

1.6.2.4. Hipótesis Específica 4

H_0 : La aplicación de refuerzos de la Fibra de Carbono no mejora la resistencia ante la ampliación de dos niveles adicionales según el análisis estructural realizado en la galería comercial Fullmarket, 2019.

H_1 : La aplicación de refuerzos de la Fibra de Carbono sí mejora la resistencia ante la ampliación de dos niveles adicionales según el análisis estructural realizado en la galería comercial Fullmarket, 2019.

1.6.2.5. Hipótesis Específica 5

H_0 : No existe un impacto económico positivo en el reforzamiento de columnas con Fibra de Carbono (CFRP) en la galería comercial Fullmarket, 2019.

H_1 : Existe un impacto económico positivo en el reforzamiento de columnas con Fibra de Carbono (CFRP) en la galería comercial Fullmarket, 2019.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo descriptiva de enfoque cuantitativo explicativo, la misma que comprende el estudio del reforzamiento estructural con fibra de carbono con la finalidad de aumentar la resistencia a la compresión de las columnas de la galería comercial Fullmarket en el 2019.

2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

La muestra en esta investigación es la edificación denominada galería Fullmarket. La población esta constituidas por las columnas de concreto del sotano y primer piso de la galería comercial Fullmarket. Por otra parte, la muestra estuvo constituida por 8 probetas cilíndricas de concreto, de las cuales 4 fueron reforzadas con Fibra de Carbono y 4 sin reforzamiento.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

Las técnicas utilizadas en la presente investigación son análisis documental, asimismo se llevó a cabo ensayos de laboratorio de resistencia a la compresión en el cual se analizaron 8 muestras cilíndricas de concreto, 4 las cuales fueron revestidas de fibra de carbono y 4 sin revestimiento. A su vez, se llevó a cabo el análisis de datos y se presentaron los resultados a través de tablas y figuras para el mayor entendimiento de los hallazgos relacionados a las pruebas de resistencia a la compresión del concreto reforzado con CFRP.

Tabla 1. Cronograma o diagrama de Gantt

N°	ETAPA	DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES	SEMANAS																																				Total actividad				
			MES 1				MES 2				MES 3				MES 4				MES 5				MES 6				MES 7				MES 8				MES 9				Semanas	%			
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36					
1	PLANIFICACIÓN	Analizar la problemática en la infraestructura estudiada	■	■	■																																		3	7.3			
2		Comunicación a propietarios de la infraestructura				■																																		1	2.4		
3		Solicitar los permisos a la Municipalidad					■																																		1	2.4	
4		Presentación de planos para aprobación del anteproyecto por el municipio de Lince					■	■	■	■	■	■	■																												8	19.5	
5		Elaborar el predimensionamiento estructural del proyecto de ampliación											■	■	■																										4	9.8	
6	EJECUCIÓN	Ejectuar la prueba diamantina de tres columnas del sotano													■	■	■																							4	9.8		
7		Realizar el análisis estructural para conocer la resistencia de la estructura actual frente al proyecto de ampliación de 02 niveles adicionales.																																							4	9.8	
8		Elaborar testigos de concreto para laboratorio de pruebas																																								4	9.8
9		Reforzamiento de testigos con fibra de carbono para envío a laboratorio de pruebas																																								4	9.8
10	EVALUACIÓN	Realizar el 2do. análisis estructural para conocer el comportamiento de la estructura frente al proyecto de ampliación de 2 niveles																																								4	9.8
11		Verificar los resultados o hallazgos obtenidos																																								2	4.9
12		Presentación de informe o memoria de estudio																																								2	4.9
																																				TOTAL	41	100%					

Fuente: Elaboración propia

2.4. Procedimiento para el objetivo específico 1

Determinar la resistencia actual del concreto de las columnas mediante prueba de Diamantina en la galería comercial Fullmarket, 2019.

Actividades realizadas

- Visita técnica a la galería para determinar las columnas a ser intervenidas.
- Realizar extracción de muestras según la prueba diamantina.
- Contratar los servicios del laboratorio de la Universidad Nacional de Ingeniería.
- Enviar las muestras al laboratorio de ensayos de resistencia al laboratorio UNI

2.4.1. Marco teórico del objetivo específico 1

El pre-dimensionamiento estructural realizado al proyecto de ampliación, evidencio una potencial falla en la resistencia de las columnas de la galería de construirse los dos niveles adicionales proyectados, lo que motivo que se tomara acciones que ayuden a que el proyecto de ampliación tuviera éxito. Una de ellas fue conocer la resistencia del concreto de la estructura de la galería que serviría además para el posterior análisis estructural.

Para conocer la resistencia del concreto se utilizó el método diamantino de extracción de muestras del elemento estructural para su posterior análisis en el laboratorio de ensayo de materiales.

Para la elección y extracción de las muestras de concreto se utilizaron los criterios de análisis estructurales eligiendo tres columnas centrales del tipo C1 ubicadas en el sótano de la galería, que son las que mayor carga tributaria concentran en la estructura; el conocimiento del proceso constructivo llevado a cabo para el llenado de las columnas y placas utilizando concreto premezclado con una resistencia de diseño $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, sirvió de ayuda para la evaluación.

Para el trabajo de extracción de muestras de concreto y comprobación de resistencia de tres columnas ubicadas en el sótano de la galería se contrató los servicios del laboratorio de la Universidad Nacional de Ingeniería, los que con sus equipos del tipo TINIUS OLSEN con certificación de calibración CMC-084-2014 y utilizando los métodos de ensayo NTP 339.034.2008 y NTP 339.059.2011 y procedimiento AT-PR-11, procedieron a realizar la extracción de las muestras que fueron enviadas al laboratorio de ensayos para la prueba de resistencia.

Las columnas intervenidas al término de la extracción fueron resanadas con concreto de resistencia $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, más un aditivo que permite la unión de concreto nuevo con concreto antiguo.

- **Resistencia**

Según Vargas (2012) el término resistencia proviene de la palabra latina “**Resistentia**” del verbo “**Resistire**” que significa mantenerse firme o resistir. Término aplicable a la capacidad física que tiene un cuerpo de soportar una fuerza opuesta por un tiempo determinado. En ingeniería civil resistencia es la capacidad que tienen los elementos estructurales de soportar los esfuerzos a los que están sometidos sin romperse dependiendo de factores como los materiales utilizados, su geometría y el tipo de unión entre los elementos etc.

La resistencia de las columnas está directamente asociada a la resistencia del concreto y el acero, componentes que definirán el periodo de vida útil en una edificación. La resistencia del concreto es determinante para el desarrollo constructivo de una edificación, el análisis de su resistencia generalmente es medida a compresión ya que a tracción su aporte es bajo y debe ser apoyado por una armadura de acero para su trabajo a flexo compresión.

La obtención de la resistencia del concreto por razones técnicas y prácticas se debe realizar después de los 28 días de endurecido el concreto. Sin embargo, para un seguimiento de la curva de madurez de resistencia, los ensayos se pueden realizar a los 7 días. La rapidez de endurecimiento y resistencia del concreto está en función de la composición química del cemento, las proporciones utilizadas para la mezcla es decir la relación agua cemento agregados, calidad de los agregados, temperatura ambiente y proceso de curado. Para concretos de alta resistencia, mientras mayor sea la resistencia requerida, menor debe ser el tamaño del agregado.

La resistencia a la compresión es la característica mecánica principal de concreto y se define como la capacidad para soportar una carga por unidad de área y se expresa en términos de esfuerzo generalmente en kg/cm^2 .

- **Columnas**

De acuerdo con Ottazzi (2014) las columnas o pilares en una edificación, son elementos estructurales verticales encargadas de soportar cargas axiales a flexo compresión, se encargan de transmitir las cargas a la cimentación. Las secciones, las formas, la cuantía del acero y las especificaciones del concreto estarán definidas en función del esfuerzo al que estarán sometidas. Las columnas, por su diseño pueden ser circulares y no circulares (cuadradas, rectangulares, tipo L, tipo cruz, tipo T etc.), Por su material pueden ser de concreto, madera, acero, tabique, piedra o mixtas. Las columnas de concreto armado son las que tiene una armadura de acero en su interior y según su diseño y exigencia pueden ser columnas con estribos (rectangulares) o zunchadas (circulares).

- **Concreto**

Según Solecio (1984) concreto es una palabra que proviene del latín “concret-us” que es formar masa y del origen castellano concreto es derivado de crecer del latín “Crescere”, se usa para referirse hacia algo compacto, sólido, monolítico, su uso en obras civiles es habitual y es producto de la mezcla de un aglomerante como el cemento y agregados como la arena, piedra, agua y aditivos, este último en algunos casos cuando el diseño de mezcla así lo requiera.

Para Cementos SOL (2013) el concreto es la mezcla de cemento, agregados, agua y eventualmente aditivos en proporciones adecuadas, para obtener las resistencias y propiedades predeterminadas. El cemento al mezclarse con el agua provoca diversas reacciones químicas de hidratación convirtiéndose en una mezcla con propiedades adherentes, trabajable con el transcurrir de las horas, derivan en el fraguado y endurecimiento progresivo de la mezcla, obteniéndose un material de consistencia pétreo. Una característica intrínseca del concreto es el poder adoptar formas distintas, a voluntad del proyectista. Al mezclarse cemento y agregados el concreto se convierte en una mezcla plástica con el cual se llenan moldes denominados encofrados, construido previamente con una forma requerida.

- **Tipos de concreto**

Según Cementos Sol (2013) los tipos de concreto son:

Simple: es una mezcla de cemento, arena, piedra y agua. La resistencia se obtiene con la dosificación de los componentes.

Armado: cuando se utilizan, como refuerzos, varillas de acero longitudinales, casi siempre se emplea un mínimo de cuatro varillas se forma una canastilla unidas por varillas transversales de menor diámetro, llamadas estribos, amarradas con alambre.

Ciclópeo: Concreto simple a cuya mezcla se agrega piedras de gran tamaño. No contiene armadura generalmente se usa para cimiento.

Premezclado: Concreto que se dosifica y elabora en plantas concreteras, se transporta a la obra en camiones mezcladores.

Prefabricado: Elementos de concreto simple o armado, fabricados en un lugar diferente a su posición final en la estructura.

- **Componentes del concreto**

Para Cementos Sol (2013) los componentes del concreto son:

Cemento: es el aglomerante, componente básico y determinante para la mezcla.

Agregados: arena y piedra triturada de diferente tamaño.

Agua: potable componente diluyente para la preparación del concreto.

Figura 1. Concreto premezclado.



Fuente: El EconomistaAmerica.com (2017)

- **Propiedades Mecánicas del concreto**

Según Morales (2014) la principal propiedad mecánica estructural del concreto es resistir las cargas a compresión, ya que su resistencia a tracción como al esfuerzo cortante son relativamente bajas. Para corregir esa falencia, se le adiciona acero en su composición lo que se denomina “armar” y consiste en introducir barras de acero corrugado o lisos, pasando así, a ser concreto armado. Esta combinación (concreto, acero), permite soportar esfuerzos cortantes y de tracción.

El concreto armado entonces consiste en incluir en el concreto acero de refuerzo como barras o mallas de acero, llamadas armaduras, se utiliza en todo tipo de edificaciones, edificios, pistas, carreteras, puentes, represas túneles etc. Un diseño adecuado de mezcla de concreto es el que le otorga resistencia, durabilidad, impermeabilidad y escaso mantenimiento.

Figura 2. Muestra de concreto armado en columnas y losa.



Fuente: Sassani (2017)

- **Propiedades del concreto**

Según IMCYC (2004) las propiedades del concreto están dadas por:

Trabajabilidad. - facilidad con la que se pueden mezclarse los materiales y la mezcla resultante se pueda manejar, transportar y colocar con facilidad.

Cohesividad. - consistencia o adherencia de la mezcla al secarse, formando un cuerpo sólido de características pétreas.

Resistencia. - capacidad de soportar o resistir cargas, determinado por el diseño de mezcla y se comprueba con la rotura de una probeta a los 28 días de vaciado.

Durabilidad. - El concreto es capaz de resistir diferentes tipos de climas, la acción de la intemperie, productos químicos y desgastes, a los cuales estará sometido en el servicio de su vida útil.

Figura 3. Muestra de concreto antes y después de fraguado.



Fuente: Sassani (2017)

- **Daños sobre las estructuras de concreto armado**

Con el transcurrir del tiempo, las edificaciones sufren el deterioro parcial o total debido a diversos factores que actúan sobre las estructuras de concreto armado. Por ello, es importante crear mecanismos de control que permitan detectar oportunamente las fallas, deterioros o problemas patológicos presentados en las estructuras. Mientras la intervención sea más temprana, las correcciones serán más duraderas, efectivas y económicas.

- **Causas que generan daños en el concreto armado**

Corrosión de armaduras: Son fisuras en la armadura al quedar expuestas, delaminación y/o desprendimientos del recubrimiento debido a un alto contenido de humedad,

afecta la capacidad portante, debido a la disminución de sección transversal de la armadura, pérdida de adherencia entre acero y concreto, Helene & Pereira (2003).

Figura 4. Vigas y losas de concreto afectadas por corrosión.



Fuente: Alario (2012)

Por agentes exteriores: ataque físico: erosión y heladas. Ataque químico: ácidos, sulfatos, reacción de los álcalis, etc. Corrosión de las armaduras: carbonatación y ataque de los cloruros.

Daños intrínsecos del propio concreto: no estructurales: asentos plásticos, retracciones, contracciones, etc. Estructurales: compresión, tracción, flexión, cortante, rasante, torsión, punzonamiento.

Daños causados por acciones extraordinarias: fuego, Sismo, Impactos, Suelos expansivos, Asientos del terreno, Empujes del terreno, Otras situaciones. Porto Quintián (2005).

Figura 5. Acero oxidado en concreto armado.



Fuente: Pinterest (2010)

Figura 6. Fisuras al concreto armado.



Fuente: Académicos Uchilefau (2011)

- **Diamantina**

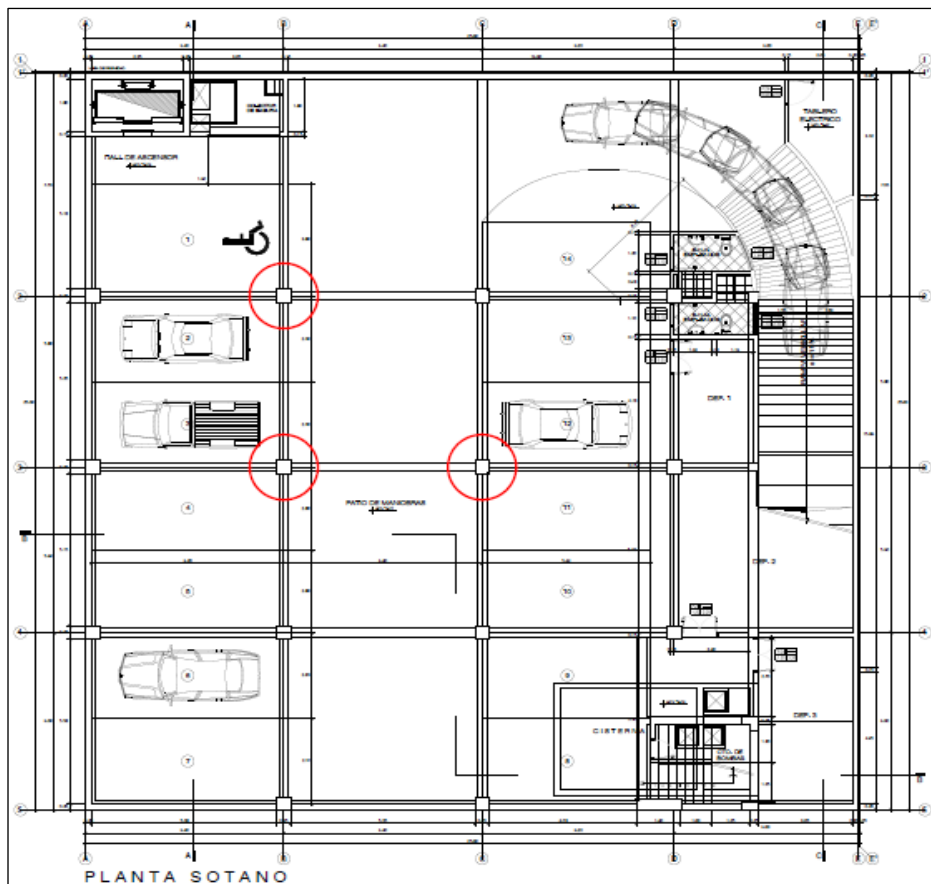
Para Patiño & Méndez (2019) de acuerdo con los criterios básicos para la evaluación estructural de una edificación, esta debe ser evaluada cuantitativa y cualitativamente teniendo en cuenta los procesos de deterioro de la capacidad portante de los elementos estructurales. Para conocer cuantitativamente la resistencia del concreto se pueden utilizar diferentes métodos, que pueden ser destructivos y no destructivos para el caso de no destructivos podemos mencionar el método de medición con sonda Windsor, que mide la resistencia por penetración con una sonda de acero, plata u otro material, empujada por una carga balística predeterminada. El método del Esclerómetro que mide la dureza del concreto por su valor de rebote. El método de ultrasonidos que mide la dureza por medio de la emisión de pulsos ultrasónicos que también puede detectar fisuras, variación en la densidad del concreto, daños por ataques de sulfatos, fuego, heladas etc. Como método destructivo podemos mencionar el método Diamantino que consiste en la extracción de muestras de concreto.

2.4.2. Desarrollo del procedimiento del objetivo específico 1

Para conocer la resistencia del concreto se eligió el método Diamantino consistente en la extracción de muestras de concreto. La prueba se realizó siguiendo la norma ASTM C42 y consistió en la extracción de un testigo de las columnas del sótano de la galería para luego ser enviado al laboratorio para el ensayo de resistencia a compresión. La ASTM define este ensayo como Método de prueba estándar para obtención y ensayo de núcleos perforados y vigas aserradas de Hormigón ASTM C42, proporcionando guías para los métodos y técnicas

adecuadas para detectar y evaluar los defectos del testigo. Mientras que la NTP le da el título de Método de ensayo normalizado para la obtención y ensayo de corazones diamantinos y vigas seccionadas de concreto (NTP 339.059:2011). El estudio y extracción de muestras lo realizó el laboratorio de la Universidad Nacional de Ingeniería. La extracción de la muestra se hizo con equipos TINIUS OLSEN. Los métodos utilizados para el ensayo fueron norma NTP 339.034.2008, NTP 339.059.2011 y procedimiento AT-PR-11. Después de la extracción se procedió con el resane de las partes intervenidas con concreto de igual resistencia más un aditivo que une concreto nuevo con concreto antiguo.

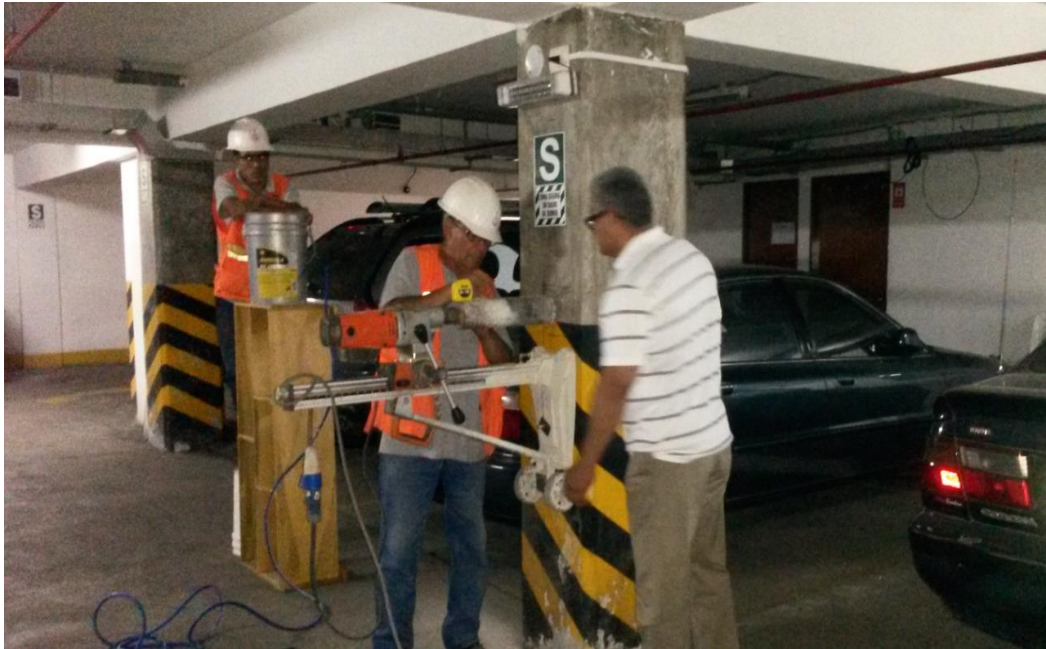
Figura 7. Columnas intervenidas para extracción de muestras



Elaboración propia

La figura muestra el plano de planta del sótano de la galería circulando las columnas de las cuales fueron extraídas las muestras de concreto.

Figura 8. Extracción de muestra de concreto, sótano de la galería



Elaboración propia

Figura 9. Muestra de concreto extraído de una columna



Elaboración propia

El resultado del laboratorio que ensayo las muestras cilíndricas extraídas de las columnas del sótano de la galería Fullmarket mostró resistencias diferentes tal como se puede observar en el siguiente cuadro.

Tabla 2. Resultado del ensayo de las muestras diamantinas.

ENSAYO DE MATERIALES PARA PRUEBA DE RESISTENCIA A COMPRESION								
Identificación de la Muestra	Fecha de Extracción	Fecha de Ensayo	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área cm ²	Carga (kg)	Factor de Corrección (Alt/Diam)	Resist. a la Compresión (Kg/cm ²)
Columna-1	4/15/2015	4/22/2015	8,00	13,40	50,30	14 100	1	281
Columna-2	4/15/2015	4/22/2015	8,00	15,30	50,30	9 500	1	189
Columna-3	4/15/2015	4/22/2015	8,00	14,90	50,30	14 150	1	282

Fuente: Laboratorio de ensayos UNI

Como se puede ver en la tabla anterior, las muestras ensayadas dieron como resultado, resistencias diferentes en los tres casos. Dos de las muestras se encuentran por encima de la resistencia de diseño que es $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ y una por debajo. Por ejemplo, para el caso de la columna 1 la resistencia fue de $f'c=281 \text{ kg/cm}^2$, 71 kg/cm^2 mayor a la resistencia de diseño. Para el caso de la columna 2 la resistencia fue de $f'c=189 \text{ kg/cm}^2$, 21 kg/cm^2 menor a la resistencia de diseño. Para el caso de la columna 3 la resistencia fue $f'c=282 \text{ kg/cm}^2$, 72 kg/cm^2 mayor a la resistencia de diseño.

Finalmente, el promedio de resistencia del concreto de las columnas del tipo C1 fue de $250,67 \text{ kg/cm}^2$, otorgando la seguridad que para los cálculos posteriores de análisis estructurales de cargas y desplazamientos se puede usar la resistencia de diseño 210 kg/cm^2 .

2.5. Procedimiento para el objetivo específico 2

Identificar mediante un análisis estructural la funcionalidad actual de la galería comercial Fullmarket 2019, de acuerdo con el RNE en cuanto a sus cargas y desplazamientos.

- **Actividades realizadas**

- Elaboración de datos de los elementos estructurales de los materiales y sus propiedades para ingreso al programa ETABS.
- Análisis de la estructura actual de la galería para verificar su funcionamiento con respecto al RNE, con ayuda del programa ETABS.

2.5.1 Marco teórico para el objetivo específico 2

Para verificar el funcionamiento de la estructura actual respecto a sus cargas y desplazamientos ante un movimiento sísmico, se realizó un análisis estructural verificando que

se encuentre dentro de las normas del Reglamento Nacional de Edificaciones RNE. Se utilizó el aplicativo ETABS que es un programa diseñado y concebido para el modelamiento, análisis y diseño estructural de edificaciones y naves industriales. Se utilizó también la norma técnica de diseño Sismo Resistente E.030 del Reglamento Nacional de Edificaciones con las exigencias de los límites en los ejes X – Y.

- **Análisis estructural**

Según McCormac J (2010) El Análisis Estructural, es una parte de la ingeniería que estudia las estructuras de forma estática y dinámica, determinando los esfuerzos y deformaciones a la que están sometidas, por la acción de fuerzas sísmicas, cargas por gravedad, sobre cargas, vientos y variaciones térmicas. Las estructuras soportan cargas constantes que ocasionan que la estructura se deforme o deformen los elementos que la forman.

McCormac J (2010) continúa diciendo que el Análisis Estructural es el cálculo de la magnitud de las fuerzas, así como de las deformaciones que las causaron. El diseño estructural abarca el dimensionamiento, la disposición de las estructuras y de sus partes, de manera que soporten satisfactoriamente las cargas a las cuales pueden estar sujetas. Una extensa variedad de sistemas estructurales es la que incluye la ingeniería estructural; comúnmente se piensa en edificios o puentes, existiendo otros sistemas estructurales como estadios deportivos y de entretenimiento, torres de radio y televisión, pavimentos de concreto, tanques de almacenamiento, estructuras espaciales y de aeronaves entre otros.

Para tener la capacidad de analizar esta amplia variedad de tamaños y tipos de estructura un ingeniero estructural debe tener un conocimiento sólido de los principios básicos aplicables a todos los sistemas estructurales. Según EcuRed (2019) los principios fundamentales que se aplican en el análisis estructural son las leyes del movimiento y de inercia de Newton.

Ho Bello & Martínez S.R.L (2017) menciona que el análisis estructural es el procedimiento a través del cual se determina las cargas de una estructura. Pese a que la ingeniería estructural no es una ciencia, no obstante, posee método propio que permite diseñar y analizar una estructura, teniendo en cuenta la funcionalidad, la economía y la seguridad. De acuerdo con dicho autor, el diseño estructural se puede dividir principalmente en análisis y diseño.

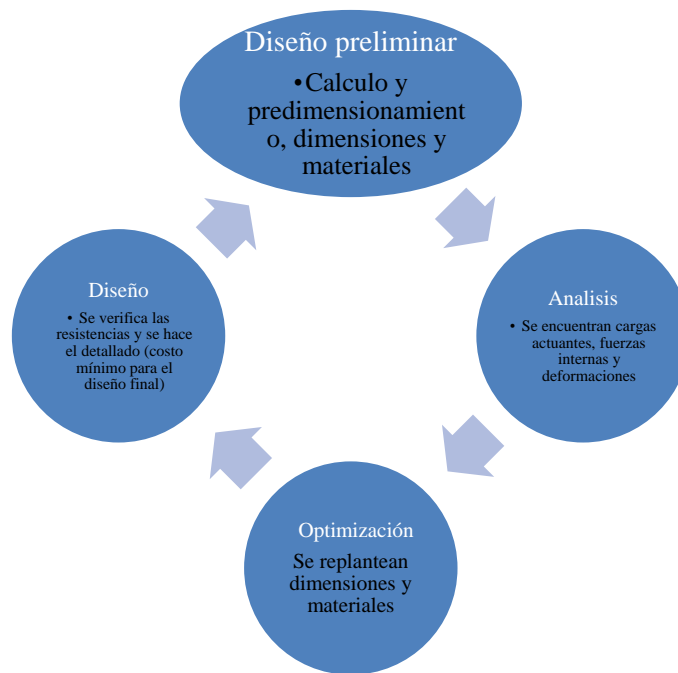
- **Etapas de Análisis**

Determina cargas axiales, momentos, deformaciones y cortantes de una estructura, sobre la base del modelo de la estructura, el tamaño y propiedades del material usados en los elementos y de las cargas aplicadas es una etapa del análisis.

- **Etapa de Diseño.**

Se selecciona las formas, los materiales y se detallada dimensiones, conexiones y refuerzos de los componentes que conforman el sistema estructural. Las etapas de análisis y diseño son procesos interactivos, no se pueden separar, al parecer se empieza por diseñar que es la etapa donde se crea y luego se analiza, pero se requiere verificar que las cargas halladas en el análisis serán soportadas por las dimensiones y materiales seleccionados, si no fuera así regresaríamos a la etapa de diseño.

Figura 10. Etapas para el diseño estructural.



Fuente: Elaboración propia

- **Principios Generales del Diseño Estructural**

Según EcuRed (2019) los principios generales del diseño estructural son seguridad, funcionalidad y economía. Se diseña una estructura para que durante su vida útil no falle. Una estructura falla cuando deja de cumplir su función de manera adecuada. Las fallas se pueden dar por rotura, inestabilidad o falla en el servicio. El servicio falla cuando la edificación no puede ser usada debido a excesivas deformaciones elásticas o permanentes. Falla por inestabilidad o rotura cuando se genera rotula plástica, separación de la estructura o movimiento debido a mal ensamblaje, apoyos incorrectos o ruptura del material.

- **Seguridad.**

El principio de seguridad es usado para controlar las excesivas deformaciones que provocan que la estructura no continúe en servicio, la separación o el rompimiento es una de esas causas. La estabilidad se puede comprobar por medio de la ley de equilibrio de Newton es una condición de seguridad. En estática se utiliza la ecuación general del equilibrio $\Sigma F=0$ Y $\Sigma M=0$, que es un principio que la estructura debe cumplir.

Uno de los conceptos básicos de uso general en las estructuras, es el principio de acción y reacción; el concepto de fuerzas actuantes y resistentes es parte del diseño estructural. Un cuerpo estará en estado de reposo o de movimiento uniforme rectilíneo a menos que otras fuerzas actúen sobre él. Las propiedades mecánicas de los materiales son las que definen la condición de seguridad y resistencia a la rotura de los elementos que la componen.

- **Funcionalidad.**

La funcionalidad de la estructura debe mantenerse en todo el tiempo de su vida útil, deben calcularse las cargas para las sollicitaciones de resistencia. Una vivienda que presenta deformaciones excesivas muestra una sensación de inhabitabilidad e inseguridad y dejaría de ser habitable, por tanto, deja de ser funcional.

- **Economía.**

El uso efectivo de los recursos configura un reto para el diseño estructural. La creatividad y el conocimiento del ingeniero se conjugan con una eficiente economía.

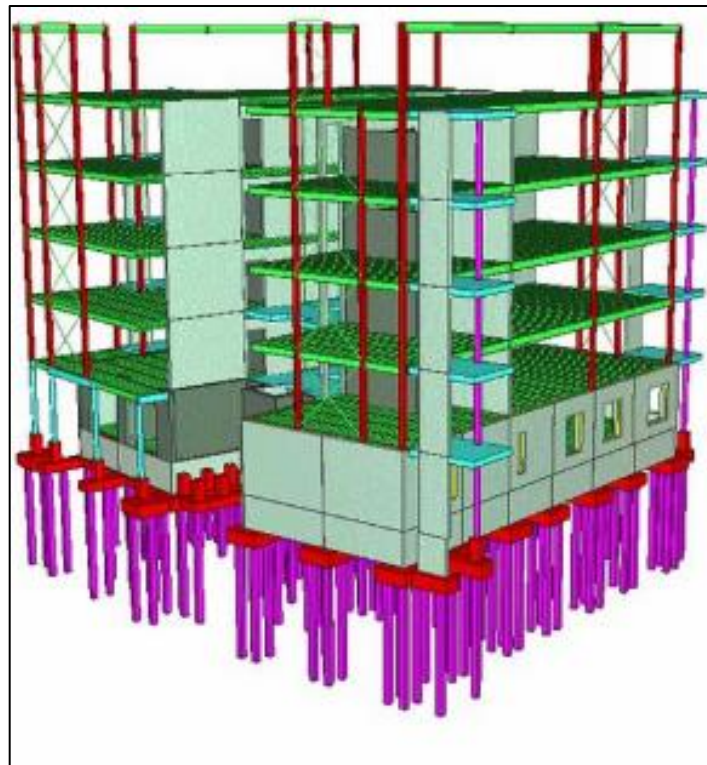
- **Análisis estructural a través del programa ETABS**

ETABS es un programa diseñado y concebido para el modelamiento, análisis y diseño estructural de edificaciones y naves industriales. ETABS es la abreviatura en inglés de **Extended Three Dimensional Analysis of Building Systems**. En español se traduce como Análisis Tridimensional Extendido de Edificaciones. Una de sus tantas características es permitir el análisis dinámico de edificios de grandes alturas con sistema de amortiguadores, así como un amplio poder de análisis geométrico y físicamente lineal y no lineal, con amplia capacidad de dimensionamiento para varios tipos de estructuras.

ETABS brinda la posibilidad de importar modelos desde otros programas como Autocad y exportar los resultados a programas, como SAP2000, SAFE, Microsoft Access, Microsoft Excel, Microsoft Word y otros.

ETABS cuenta con una interfaz gráfica fácil y completa, vinculada con poderosas herramientas, ofreciendo al ingeniero estructural, un programa de análisis y diseño de edificaciones eficiente y productivo.

Figura 11. Muestra gráfica 3D del programa ETABS.



Fuente: ETABS (2016)

ETABS ofrece herramientas inigualables de modelado y visualización de objetos 3D, alta capacidad de poder analítico lineal y no lineal, opciones de dimensionamiento sofisticadas y que abarcan una amplia gama de materiales, esclarecedores gráficos, informes y diseños esquemáticos que facilitan la comprensión del análisis y de los respectivos resultados.

Desde el modelado de la estructura a la creación de diseños y detalles, ETABS cubre todos los pasos del proceso de dimensionamiento. Diseños CAD pueden convertirse directamente en modelos ETABS o usarse como plantillas a partir de los cuales se puede realizar el modelado. Permite el análisis rápido de modelos extremadamente complejos y soporta técnicas de modelado no lineales, como secuencia constructiva y efectos diferidos en el tiempo (por ejemplo: fluencia y retracción). Está incluido el dimensionamiento de estructuras metálicas y de hormigón armado con optimización automatizada, así como de vigas y columnas mixtas, de muros de hormigón y mampostería.

- **Fallas potenciales**

Para CIGIR (2009) las fallas en una estructura pueden darse por diferentes motivos, error en el diseño, cambio de uso de la edificación o por mal proceso constructivo. En cualquiera de los casos la falla ocurre en el concreto o en el cálculo de la cuantía del acero.

2.5.2. Desarrollo del procedimiento del objetivo Especifico 2

La galería comercial Fullmarket situada en el distrito de Lince en Lima Perú, es una edificación de dos pisos más un sótano en actual funcionamiento, el área de terreno es de 625 m²., cuenta con 14 estacionamientos en el sótano, 38 stand en el 1er. Piso y 43 stand en el 2do. Piso.

De acuerdo con un pre-dimensionamiento estructural del proyecto de ampliación se evidencio una falla potencial en las columnas; las nuevas cargas producto del proyecto de ampliación no serían soportadas por la estructura actual en consecuencia deberían ser reforzadas.

Tabla 3. Pre dimensionamiento estructural del proyecto de ampliación.

PRE-DIMENSIONAMIENTO ESTRUCTURAL PROYECTO DE AMPLIACION DE LA GALERIA FULLMARKET								
Nivel	Columnas	Placas	Vigas	Losas	Muros	Sobre Carga	Total	Und.
Sótano	46 267,20	52 224,00					98 491,20	kg
1er piso	46 267,20	52 224,00	114 408,00	200 963,10	93 750,00	312 500,00	820 112,30	kg
2do piso	46 267,20	52 224,00	114 408,00	200 963,10	93 750,00	312 500,00	820 112,30	kg
3er piso	46 267,20	52 224,00	114 408,00	200 963,10	93 750,00	312 500,00	820 112,30	kg
4to piso	46 267,20	52 224,00	114 408,00	200 963,10	93 750,00	312 500,00	820 112,30	kg
Azotea			114 408,00	200 963,10	93 750,00	312 500,00	721 621,10	kg
Sumatoria	231 336,00	261 120,00	572 040,00	1 004 815,50	468 750,00	1 562 500,00	4 100 561,50	kg
							Peso por metro cuadrado	6 560,90 kg/m ²
							Área tributaria columna central	36,00 m ²
							Peso Tributario	236 192,34 kg
							Resistencia f'c	210,00 kg/cm ²
							Centrales 1.10*P/(0.30 * F'c)	4 123,99 cm ²
							Sección de Columna	64,22 cm

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la tabla mostrada la sección de la columna central del tipo C1, para el proyecto de ampliación debería tener una sección de 65 x 65 cm., con una resistencia de diseño de 210 kg/cm².

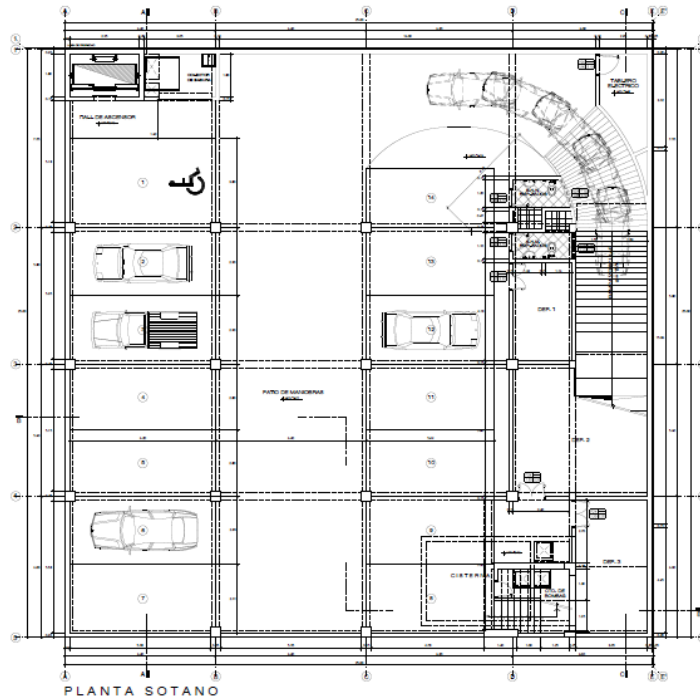
Figura 12. Galería Comercial Fullmarket del distrito de Lince-Lima



Fuente: Elaboración propia

La figura muestra la galería ubicada entre las esquinas de Av. Arenales y Manuel Córdova en distrito de Lince Lima, en pleno funcionamiento.

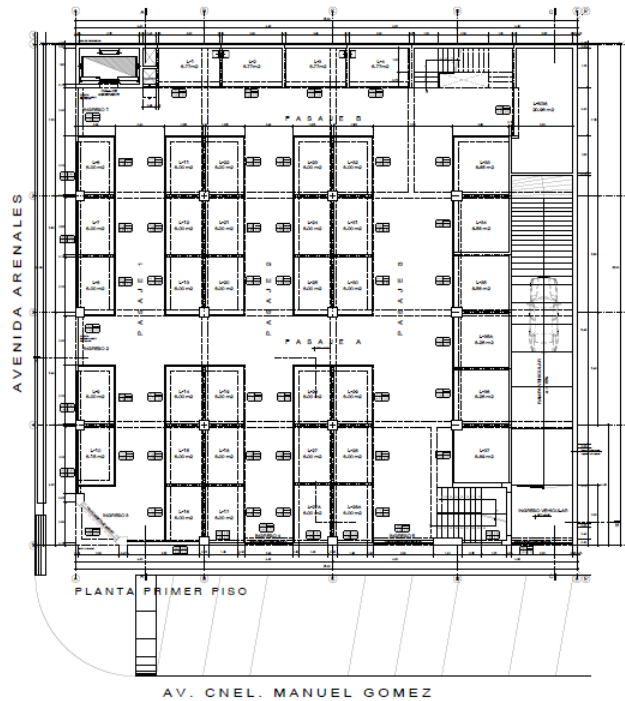
Figura 13. Plano de planta Sótano de la Galería



Elaboración propia

La figura muestra el plano del sótano de la galería con 14 estacionamientos.

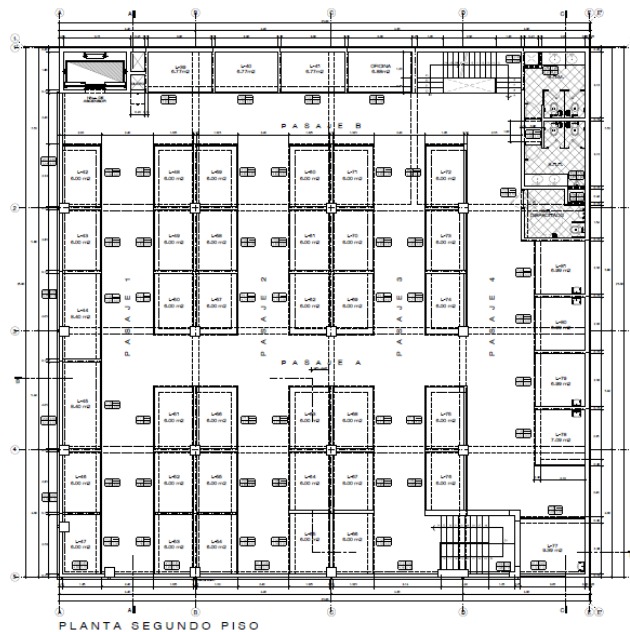
Figura 14. Plano de planta 1er. Piso de la Galería



Elaboración propia

Plano del primer piso de la galería, con 38 establecimientos de 6 a 8 m² cada uno.

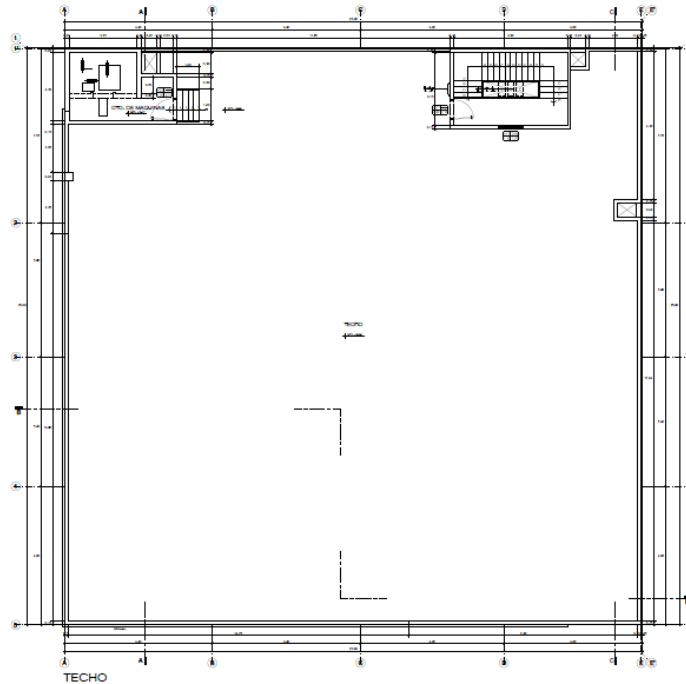
Figura 15. Plano de planta 2do. Piso de la galería



Elaboración propia

La figura muestra el plano del segundo piso de la galería con 43 establecimientos de 6 a 8 m² cada uno.

Figura 16. Plano de planta techo de la galería



Elaboración propia

La figura muestra el plano del techo de la segunda planta de la galería, donde se proyecta construir 2 niveles más destinados a oficinas.

- **Análisis de la Estructura existente**

El Sistema Estructural Predominante en la dirección X es mixto conformado por pórticos y muros de corte de Concreto Armado, la dirección Y es similar a la dirección X, de esta manera de acuerdo con RNE (2014) las normas principales que rigen sus diseños son la E060 de Concreto Armado.

Se verifico las condiciones estructurales de regularidad, de acuerdo con lo contemplado en la NTE E030.

- **Irregularidades estructurales en altura (Ia = 1.0).**

Irregularidad de Rigidez – Piso Blando. No presenta.

Irregularidad de Resistencia – Piso Débil. No presenta.

Irregularidad Extrema de Rigidez - No presenta.

Irregularidad Extrema de Resistencia - No presenta.

Irregularidad de Masa o Peso – No presenta.

Irregularidad Geométrica Vertical - No presenta.

Discontinuidad en los Sistemas Resistentes - No presenta.

Discontinuidad extrema de los Sistemas Resistentes - No presenta.

- **Irregularidades estructurales en planta ($I_p = 0.75$).**

Irregularidad Torsional. Sí presenta. ($I_p = 0.75$).

Irregularidad Torsional Extrema - No presenta.

Esquinas Entrantes. No presenta.

Discontinuidad del Diafragma - No presenta.

Sistemas no Paralelos - No presenta.

La estructura clasifica como Irregular con un factor de irregularidad $I_p = 0.75$.

Para el análisis estructural existente se usó el programa ETABS 16.2.1 de análisis estructural que empleo el método de rigidez matricial y de elementos finitos. Se modeló la geometría de la estructura y las cargas actuantes.

- **Cargas**

A continuación, se detallan las cargas consideradas en el análisis por gravedad de acuerdo con la Norma E-020 del Reglamento Nacional de Edificaciones RNE (2014).

Peso propio Concreto	2 400 kg/m ³
Peso losa aligerada 1 dirección	300 kg/m ²
Peso losa aligerada 2 direcciones	408 kg/m ²
Peso acabado	100 kg/m ²
Peso tabiquería	100 kg/m ²
S/C Tiendas	500 kg/m ²
S/C Pasadizos	500 kg/m ²
S/C techos	200 kg/m ²

- **Combinaciones de Cargas**

Se consideran las combinaciones exigidas por la Norma E060:

$$1.4 D + 1.7 L$$

$$1.25 D + 1.25 L + 1.0 SX$$

$$1.25 D + 1.25 L + 1.0 SY$$

$$0.9 D + 1.0 SX$$

$$0.9 D + 1.0 SY$$

Para el diseño de vigas se trazaron las envolventes de fuerzas.

- **Características de los materiales**

- **Concreto**

- Resistencia a la compresión: $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$

- Módulo de elasticidad $E = 218,819 \text{ Kg/cm}^2$

- Módulo de Poisson $\mu = 0.20$

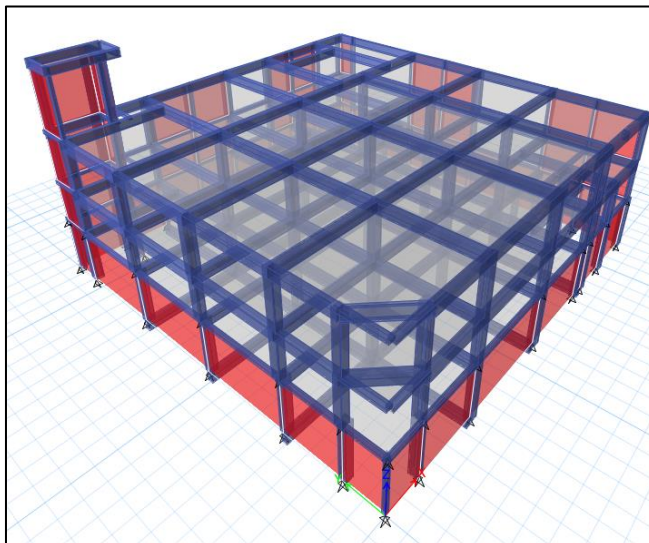
- **Acero de refuerzo**

- Resistencia a la fluencia del acero grado 60: $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$.

- **Modelo estructural.**

Para vigas y columnas, el modelo empleado consistió en barras de eje recto que incluyen deformaciones por flexión, fuerza cortante, torsión y carga axial. El modelo considera el efecto tridimensional del aporte de rigidez de cada elemento estructural. Para los muros de corte se emplearon elementos tipo Shell (Áreas) que incluyen el efecto de membrana y de flexión.

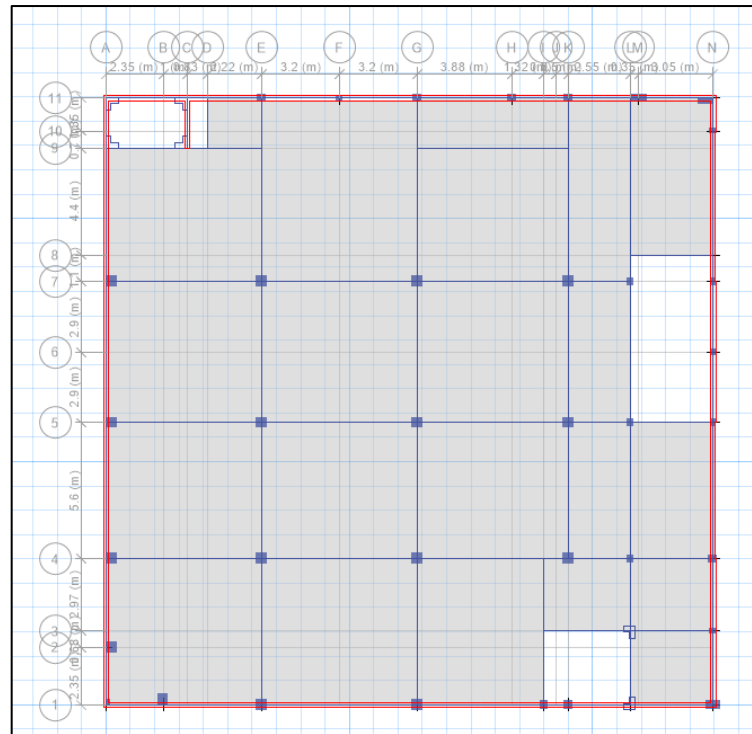
Figura 17. Modelo estructural elaborado en el software ETABS 16.2.1



Fuente: Elaboración propia

El modelo 3D, muestra la edificación de la galería con sótano, 1er., y 2do.piso., disposición de columnas y vigas.

Figura 18. Planta sótano elaborado en el software ETABS 16.2.1



Fuente: Elaboración propia

- **Masas para el análisis dinámico modal y sísmico**

Las masas procedentes de la sobrecarga, de las losas y piso terminado se concentran a nivel del centro de masas de cada losa, las masas derivadas del peso propio de las vigas y columnas se consideran distribuidas en toda su longitud. Luego el programa lleva la masa de los elementos estructurales hacia los nudos extremos. En el cálculo de la masa de la estructura se consideró el 50% de la carga viva (Cap. IV, Art. 16.3 RNE E.030,2014).

- **Análisis sísmico**

Se realizó un Análisis Sísmico Dinámico por Superposición Modal Espectral. Los parámetros empleados para el cálculo del Espectro de Respuesta son:

Factor de Zona $Z = 0.45$ (Zona 4)

Factor de Uso $U = 1.3$ (Categoría B - Edificaciones Importantes)

Factor de Suelo $S = 1.0$, (Perfil tipo S1 - Roca o Suelos Muy Rígidos)

$$T_p = 0.4s$$

$$T_L = 2.5s$$

Coeficiente de Reducción: (Pórticos de Concreto Armado $R = 8$)

$$R_{xx} = 8 \times 0.75 = 6$$

$$R_{yy} = 8 \times 0.75 = 6$$

La cortante estática es:

Ecuación 1. Factores de Zona, Uso, Suelo eje (x)

$$\frac{Z U S C}{R_x} = 2.39$$

Ecuación 2. Factores de Zona, Uso, Suelo eje (y)

$$\frac{Z U S C}{R_y} = 2.39$$

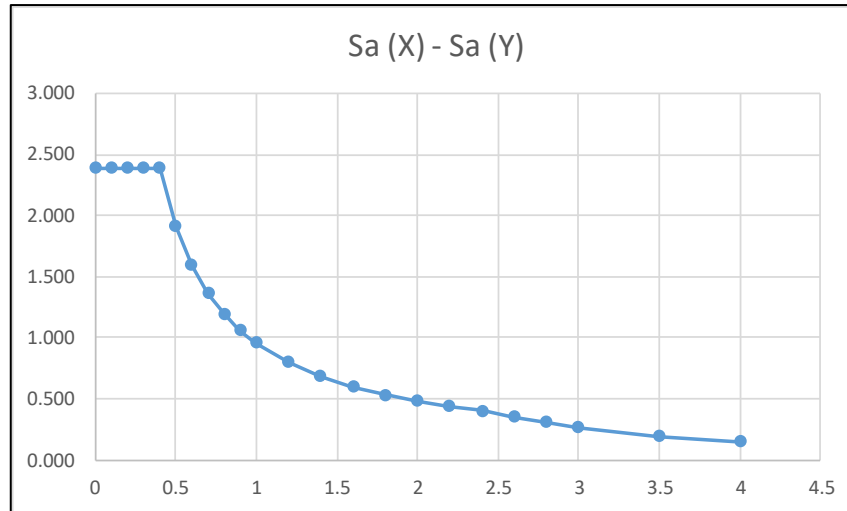
Tabla 4. Gráfico Espectro de aceleraciones.

T	C	Sa (x)	Sa (Y)
0,00	2,50	2,391	2,391
0,10	2,50	2,391	2,391
0,20	2,50	2,391	2,391
0,30	2,50	2,391	2,391
0,40	2,50	2,391	2,391
0,50	2,00	1,913	1,913
0,60	1,67	1,594	1,594
0,70	1,43	1,366	1,366
0,80	1,25	1,196	1,196
0,90	1,11	1,063	1,063
1,00	1,00	0,956	0,956
1,20	0,83	0,797	0,797
1,40	0,71	0,683	0,683
1,60	0,63	0,598	0,598
1,80	0,56	0,531	0,531
2,00	0,50	0,478	0,478
2,20	0,45	0,435	0,435
2,40	0,42	0,399	0,399
2,60	0,37	0,354	0,354
2,80	0,32	0,305	0,305
3,00	0,28	0,266	0,266

3,50	0,20	0,195	0,195
4,00	0,16	0,149	0,149

Fuente: Elaboración propia.

Figura 19. Espectro de aceleraciones previo a la ampliación



Fuente: Elaboración propia.

En la figura anterior se muestra el análisis dinámico que define el periodo y la aceleración del suelo (S_a) evaluando el rango elástico e inelástico.

- **Verificación de desplazamientos permisibles según la norma E030 RNE**

En el proceso del análisis de los desplazamientos se pudo verificar lo siguiente:

Tabla 5. Cálculo de los desplazamientos permisibles según NTE E-030.

NIVEL	h (m)	Desplazamiento por piso		Desplazamiento 0.75 R		Distorsión por piso		$\Delta x / h$	$\Delta y / h$
		Ux (m)	Uy (m)	Ux (m)	Uy (m)	Δx (m)	Δy (m)		
3	3,27	0,00360	0,01129	0,01620	0,05080	-0,02230	0,01820	-0,00680	0,00560
2	3,27	0,00856	0,00725	0,03850	0,03260	0,02120	0,01880	0,00650	0,00570
1	3,27	0,00385	0,00308	0,01730	0,01380	0,01730	0,01380	0,00530	0,00420
Sotano	2,77	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla mostrada podemos observar que los desplazamientos en X y Y en todos los niveles de la galería se encuentran dentro de lo permitido por el RNE que es 0.007.

- **Verificación de las columnas**

Se verificaron las resistencias de las columnas del tipo C1 (45x45cm.), en el sotano y primer nivel de la galería obteniéndose los siguientes resultados para cada nivel:

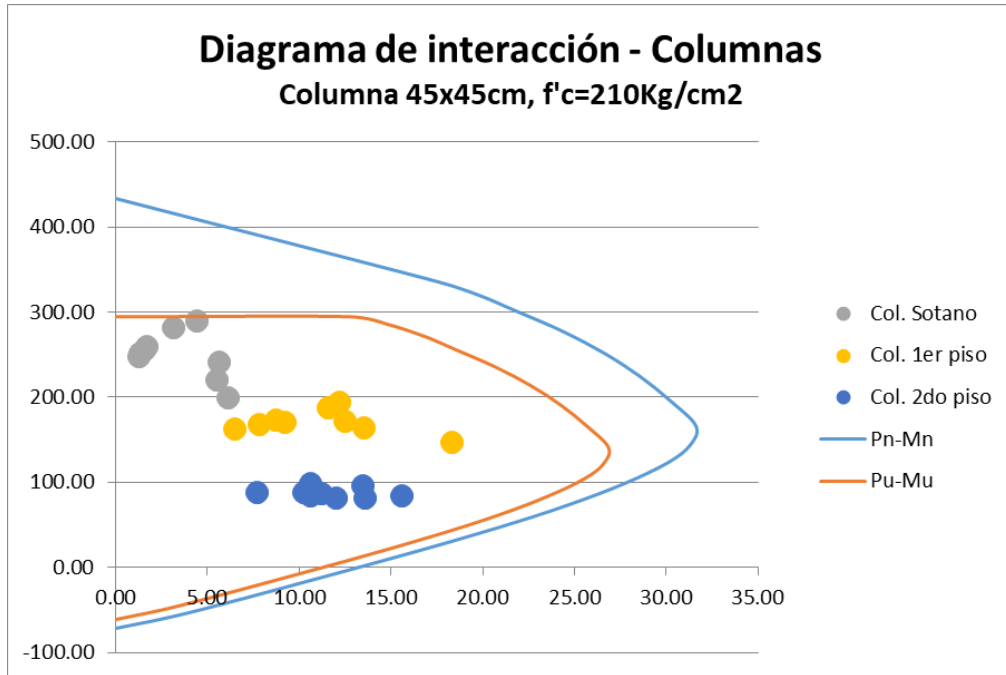
Tabla 6. Cargas y momentos actuales columnas de la Galería.

Nivel	Columna	Fuerza Axial	Momento 2	Momento 3
	Eje	kg	kg-m	kg-m
Sótano	B-2	282 000,00	3 140,00	1 234,00
	B-3	252 000,00	1 169,00	1 310,00
	B-4	260 000,00	1 478,00	1 679,00
	C-2	293 500,00	4 429,00	1 253,00
	C-3	248 000,00	932,00	1 290,00
	C-4	255 500,00	1 266,00	1 603,00
	D-2	241 500,00	2 157,00	5 655,00
	D-3	220 000,00	1 033,00	5 517,00
Primer	D-4	199 500,00	4 049,00	6 108,00
	B-2	188 000,00	11 605,00	5 347,00
	B-3	168 000,00	7 819,00	6 349,00
	B-4	173 500,00	7 379,00	8 715,00
	C-2	194 500,00	12 194,00	5 338,00
	C-3	162 500,00	5 553,00	6 506,00
	C-4	170 000,00	5 717,00	9 206,00
	D-2	172 000,00	7 365,00	12 479,00
Segundo	D-3	163 500,00	3 965,00	13 558,00
	D-4	147 500,00	8 110,00	18 339,00
	B-2	95 500,00	13 495,00	5 746,00
	B-3	84 000,00	7 163,00	10 621,00
	B-4	88 500,00	9 694,00	10 258,00
	C-2	99 000,00	10 633,00	5 304,00
	C-3	81 500,00	5 233,00	12 024,00
	C-4	86 000,00	7 125,00	11 244,00
Segundo	D-2	87 500,00	6 521,00	7 722,00
	D-3	81 000,00	4 061,00	13 570,00
	D-4	84 500,00	7 393,00	15 594,00

Fuente: Elaboración propia.

Para la columna tipo C1 (45x45cm.) ubicada en el eje C-2 del sótano, que registra mayor carga axial, se confeccionó el diagrama de interacción carga-momento, para verificar el comportamiento a flexo compresión mostrando el siguiente resultado gráfico:

Figura 20. Diagrama Interacción Carga-Momento Columna, C1 (45x45cm.)



Fuente: Elaboración propia.

Según el diagrama de interacción de la columna mostrado, se puede verificar que las solicitaciones de cargas y momentos se encuentran dentro de la curva de diseño, con lo que se comprueba que la resistencia y el diseño de la sección de la columna cumple con las solicitaciones de carga exigidas.

- **Verificación de las vigas.**

Se verificaron las vigas, del sótano, primer y segundo piso, con las resistencias de cargas y momentos máximos para cada nivel:

Tabla 7. Fuerza cortante, momentos positivos y negativos máximos.

Nivel	Fuerza Cortante Kg.	Momento 2 positivo Kg-m	Momento 3 negativo Kg-m
Sótano	36 000,00	30 000,00	16 000,00
Primer	30 000,00	25 000,00	11 000,00
Segundo	29 000,00	30 000,00	31 000,00

Fuente: Elaboración propia.

Se verificó el momento máximo que pueden soportar las vigas de concreto armado de 35x70 cm., reforzadas con acero de 2Ø1" + 4Ø3/4" de 21.56cm² lo que da una resistencia nominal de 49 512 Kg-m, demostrando que las vigas soportan las cargas aplicadas.

Figura 21. Verificación del máximo momento soportado por la viga

```

DOSBox 0.74, Cpu speed: 3000 cycles, Frameskip 0, Program: DIANSCA
> ANALISIS EN FLEXION <
Ancho Alma = 35.0          f'c = 210
Altu.Total = 70.0         fy = 4200
Ancho Ala = 0.0           ϕ Flex. = 0.90
Espe. Ala = 0.0           E acero = 2000000
      d = 65.0           Def.Max. del Concreto = 0.0030
      d' = 5.0           Beta1 = 0.85

Se asume compresiones en la fibra superior (ala)
As = 21.56
A's = 21.56

Momento Nominal Resistente (Mn) = 55014 kg-mt
Resistencia de Diseño (ϕ Mn) = 49512 kg-mt

Profundidad del Eje Neutro (c) = 7.97
Profundidad Bloque Equiv. (a) = 6.78

Deformaciones del Acero (fracción de la defor. de fluencia) (+ Tracción)
Acero Superior = -0.533
Acero Inferior = 10.220

Otro Análisis ? [SI] : _
  
```

Fuente: Elaboración propia.

- **Verificación de las vigas de cimentación.**

Se verificaron las vigas de cimentación, que tienen las siguientes solicitaciones de cargas y momentos para cada eje:

Tabla 8. Fuerza cortante, momentos positivos y negativos máximos.

Viga	Fuerza Cortante Kg.	Momento 2 Positivo Kg-m	Momento 3 Negativo Kg-m
VC-1	4 400,00	1 000,00	13 400,00

Elaboración propia.

Figura 22. Verificación de las vigas de cimentación.

```

> ANALISIS EN FLEXION <
Ancho Alma = 30.0          f'c = 210
Altu.Total = 70.0         fy = 4200
Ancho Ala = 0.0           ϕ Flex. = 0.90
Espe. Ala = 0.0           E acero = 2000000
      d = 64.0           Def.Max. del Concreto = 0.0030
      d' = 6.0           Beta1 = 0.85

Se asume compresiones en la fibra superior (ala)
As = 5.68
A's = 5.68

Momento Nominal Resistente (Mn) = 14763 kg-mt
Resistencia de Diseño (ϕ Mn) = 13287 kg-mt

Profundidad del Eje Neutro (c) = 5.67
Profundidad Bloque Equiv. (a) = 4.82

Deformaciones del Acero (fracción de la defor. de fluencia) (+ Tracción)
Acero Superior = 0.082
Acero Inferior = 14.688

Otro Análisis ? [SI] : _
  
```

Fuente: Elaboración propia.

Verificando el máximo momento que pueden soportar las vigas de cimentación para las vigas principales reforzadas con $2\phi 3/4"$ (2.65cm^2) es $14\,763\text{ Kg-m}$ el cual es mayor a lo demandado.

Del análisis realizado a la estructura actual de la galería, realizado para verificar la funcionalidad actual de la galería comercial de acuerdo con el RNE en cuanto a sus cargas y desplazamientos se verifico que, la estructura existente cumple perfectamente con el RNE y la normatividad vigente E-030.

2.6. Procedimiento para el objetivo específico 3.

Diseñar los refuerzos con la aplicación de la Fibra de Carbono (CFRP) en las columnas de la galería Fullmarket, 2019.

- **Actividades realizadas**

- Elaboración de 8 muestras cilíndricas de $\phi 15 \times 30\text{cm}$. de concreto con resistencia $f'c=210\text{ kg/cm}^2$.
- Codificación de muestras cilíndricas de concreto con códigos de P1 a P8.
- Reforzamiento de 4 muestras de concreto con fibra de carbono unidireccional en manta, 2 de las cuales se reforzaron con fibra de carbono de 600 gr/m^2 y 2 con fibra de carbono unidireccional en manta de 300 gr/m^2 .

P1= 600 gr/m^2 con traslape de 15 cm .
P2= 600 gr/m^2 con traslape de 30 cm .
P3= 300 gr/m^2 con dos vueltas completas de fibra de carbono y
P4= 300 gr/m^2 con tres vueltas completas de fibra de carbono.
- Verificación de resultados obtenidos del laboratorio con cálculos según norma ACI 440 2R 17.

2.6.1 Marco teórico del objetivo específico 3

Para conocer como el reforzamiento con Fibra de Carbono unidireccional en manta, aumenta la resistencia a la compresión del concreto se realizó un estudio experimental de aumento de resistencia aplicando externamente fibra de carbono CFRP a 4 de 8 muestras de concreto cilíndricas $\phi 15 \times 30\text{cm}$ con una resistencia nominal de $f'c=210\text{ kg/cm}^2$. Dos muestras fueron reforzadas con fibra de carbono de 600 gr/m^2 y dos muestras con fibra de carbono de 300 gr/m^2 . Posteriormente se comprobaron los resultados emitidos por el laboratorio con la norma ACI 440 2R 17.

- **Fibra de Carbono como refuerzo CFRP (Carbón Fiber Reinforced Polymer).**

Según Castillo (2010) la Fibra de Carbono es un material compuesto de fibras, una matriz y adhesivos catalogado como polímeros reforzados. Las fibras son las responsables de brindarle las propiedades estructurales al material compuesto, debido a que su rigidez y resistencia es mucho mayor que la matriz. Las fibras empleadas propiamente como refuerzo consisten en fibras de carbono pequeñas continuas y con una direccionalidad establecida.

Para Castillo (2010) existen tres tipos de fibra predominantemente utilizadas como polímeros:

La Fibra de Vidrio (GFRP), La Fibra de Aramida (AFRP) y La Fibra de Carbono (CFRP).

La Fibra de Vidrio (GFRP) es un material compuesto de filamentos poliméricos basados en dióxido de silicio extremadamente finos hechas a base arena de sílice, piedra caliza y ceniza de soda, o carbonato de sodio. Es estable, resistente, ligero y gran aislante térmico; ventajoso por su bajo costo, menos resistentes que otras fibras. Los tipos más usados son **E-glass**, **S-glass** y **AR-glass**. se diferencian por su resistencia mecánica y al álcali.

La Fibra de Aramida (AFRP) de origen sintético de poliamida, buen comportamiento ante cargas, alta resistencia a la tracción. Fabricados por diferentes procesos de hilado y extrusión, presentan una respuesta elástica lineal a tracción y presentan un comportamiento no lineal a compresión. De acuerdo con su rigidez hay dos tipos, de bajo módulo $E=70$ Gpa y alto modulo $E=130$ Gpa.

La Fibra de Carbono, según Castillo (2010) las Fibras de Carbono (CFRP) son las más utilizadas por ser las más conocidas y debido a sus buenas propiedades mecánicas, comparadas con otros tipos de fibras fabricadas con polímeros tipo PITCH o PAN. Las fibras a base de polímeros PITCH se producen del petróleo refinado o brea, brindan materiales de uso general poseyendo alta resistencia y módulo de elasticidad. Las fibras a base de PAN están hechas con poliacrilonitrilo y el material producido es de alta resistencia y alto módulo de elasticidad.

De acuerdo Mariano (2011) las Fibras de Carbono basadas en PAN son fibras que se producen mediante la conversión del precursor poliacrilonitrilo (PAN) a través de las siguientes etapas:

Estiramiento de filamentos del precursor de poliacrilonitrilo y su oxidación térmica a 200°C. Los filamentos se mantienen en tensión.

Carbonización en atmósfera de nitrógeno a una temperatura de alrededor de 1500 a 2000° C durante varias horas. Durante esta etapa, los elementos no carbonosos (O, N, H) se volatilizan dando como resultado el enriquecimiento de las fibras con carbono.

Grafitización de filamentos a aproximadamente a 2500 ° C.

Tabla 9. Propiedades mecánicas de los polímeros reforzados.

Material	Módulo de elasticidad (GPa)	Resistencia a la tracción (MPa)	Deformación última a la tracción (%)
Carbono			
Resistencia alta	215 a 235	3 500 a 4 800	1,4 a 2,0
Resistencia ultra alta	215 a 235	3 500 a 6 000	1,5 a 2,3
Módulo alto	350 a 500	2 500 a 3 100	0,5 a 0,9
Módulo ultra alto	500 a 700	2 100 a 2 400	0,2 a 0,4
Vidrio			
E	70	1 900 a 3 000	3,0 a 4,5
S	85-90	3 500 a 4 800	4,5 a 5,5
Aramida			
Módulo bajo	70-80	3 500 a 4 100	4,3 a 5,0
Módulo alto	115-130	3 500 a 4 000	2,5 a 3,5

Fuente: PITRA Vol. 1 No.6

- **Tipos y clasificación de Fibra de Carbono CFRP.**

Miravete (2007) dice que, de acuerdo con el uso de la temperatura para su elaboración se han podido identificar tres tipos de fibras de carbono:

De alto módulo (HM) producida a alta temperatura, es la más rígida.

De alta resistencia (HR) se carboniza a la temperatura que proporciona la mayor resistencia a tracción, es la más fuerte.

El último tipo de fibra (III) es la más económica; de menor rigidez que en las anteriores, de buena resistencia, su fabricación es con bajas temperaturas.

- **Pegamentos para la aplicación del CFRP.**

De acuerdo con Llanos Carolina (2011) el pegamento para la aplicación de la fibra de carbono es una clase de polímero termoestable denominado resina epóxica, se solidifica cuando se mezcla con un agente catalizador, es irreversible no se funde al calentarla. La resina epoxi es la más utilizada proviene del diglicidiléter de bisfenol A (DGEBA), su dureza supera a la provenientes de poliéster y viniléster. Por ello puede trabajar en temperaturas mayores a 180°C, con buena adherencia a muchos sustratos, en el proceso de polimerización muestra baja concentración y es resistente a los ataques de agentes químicos y corrosión. Las composiciones de resinas comerciales son frecuentemente una mezcla compleja de resinas, modificadores termoplásticos, catalizadores/aceleradores, agentes de curado y otros aditivos, generalmente en una proporción de 80 por ciento resina y 20 por ciento de catalizadores o aceleradores. De tal forma que pueden ser usadas para reunir los requerimientos necesarios de alto rendimiento en cada aplicación, para la aplicación de la fibra de carbono la resina epóxica, es el componente esencial. Los compuestos de

resinas epoxídicas han tenido amplia aceptación y su aplicación se ha extendido a actividades donde se requiere un polímero de mucha resistencia mecánica. Son materiales termo fraguables que después de endurecer no pueden ser fundidos son irreversibles. Los compuestos epóxicos poseen un átomo de oxígeno unido a dos átomos de carbono adyacentes (estructura oxirano), son grupos de éteres cíclicos u óxidos de alqueno (alquileno). Estos éteres reaccionan con los grupos amino, oxhidrilo y carboxilo (endurecedores), así como con los ácidos inorgánicos, para dar compuestos relativamente estables.

Entre los sistemas de importancia industrial que utilizan endurecedores se encuentran los sistemas de resinas epoxídicas. Un endurecedor o agente de curado, un producto que cuando se añade a una sustancia macromolecular especificada en cantidades mayores a las catalíticas, reacciona con ésta y la convierte en un polímero irreversible que poseerá una serie de características perfectamente definidas, de las que anteriormente carecía.

Para Llanos (2011) el trabajo de la matriz en el material compuesto es permitir la transferencia de tensiones entre ellas en relación con las fibras, además la protege contra las condiciones ambientales o agentes mecánicos que puedan dañarlas o desgastarlas en esfuerzos a tracción y soportarlas para evitar su pandeo. La matriz de un material compuesto mantiene las fibras unidas y distribuye la carga entre ellas, protege las fibras contra la abrasión y la corrosión ambiental, puede ser del tipo termo endurecible (tipo más común) o termo plástico. Los materiales termo endurecibles son originalmente suaves al recibir calor se convierten en sólidos insolubles e irreversible. De otro lado, los materiales termoplásticos actúan como un líquido cuando se les transfiere calor.

La matriz usada contribuye significativamente en muchas de las propiedades mecánicas del material como en su módulo, su resistencia transversal y sus propiedades de cortante y compresión. Los tipos de matrices más comunes son las resinas epóxicas, el poliéster y el viniléster. Estos polímeros son del tipo termo endurecible, de gran resistencia química y fácil de procesar. Según SIKA (2019) el pegamento epóxico para la aplicación de la fibra de carbono consta de dos componentes, un endurecedor componente A y un agente de curado componente B que la convierte en un polímero irreversible.

Figura 23. Muestra de pegamento epóxico.



Elaboración propia

- **Reforzamiento con Fibra de Carbono CFRP**

Para Miravete A. (2001) la aplicación en el campo sísmico es por el aumento de resistencia ante acciones sísmicas, dúctiles y de resistencia a cortante de los elementos estructurales, permitiendo de este modo la disipación de la energía y un incremento de resistencia en la capacidad de deformación.

La aplicación en el campo de la rehabilitación es para recuperar la resistencia de la estructura, donde se encuentre comprometida la seguridad local o global debido a la degradación. La aplicación como refuerzo, es para corregir anomalías en los elementos estructurales, en la capacidad portante o por un aumento de cargas.

El uso de la Fibra de carbono es posible por alta resistencia y alto módulo de elasticidad a la tracción, peso liviano, alta durabilidad, anticorrosivo, bajo mantenimiento, rápida instalación, mínimo incremento de espesor en la geometría del elemento, muy flexible, adaptable a todas las formas de los elementos.

En el Perú el reforzamiento con fibra de carbono es cada vez más conocido por la sociedad de ingenieros, como ejemplo tenemos el reforzamiento con CFRP realizado a las vigas del edificio Chocavento en el distrito de San Isidro en Lima.

Figura 24. Reforzamiento de viga Edificio Chocavento – San Isidro.



Fuente: Instituto construir (2005)

De igual forma en el distrito de Surco en el local de plaza Vea en la zona de Higuiereta se realizó el reforzamiento de una columna con CFRP.

Figura 25. Aplicación de fibra en columna. Plaza Veá Higuiereta Surco.



Fuente: Instituto construir (2005)

Figura 26. Reparación con CFRP columna del tren eléctrico



Fuente: Fibwrap (2019)

- **Proceso de fabricación de la CFRP**

Miravete (2007) dice que la fabricación de fibras de carbono se realiza mediante un proceso de pirólisis controlada y ciclización de precursores de cierta fibra orgánica, siendo el más común el precursor poliacrilonitrilo (PAN) y el alquitrán; el poliacrilonitrilo es una fibra sintética y el alquitrán se obtiene de la destilación destructiva del carbón. Existe otro precursor de fibra de carbono derivado de materiales provenientes de la celulosa como el rayón. En la actualidad se usa muy poco debido a que en el proceso de fabricación llegando a la carbonización, se pierde un 75% de la masa de fibra y resulta un proceso más costoso que los precursores de alquitrán, basados en MPP, en brea o en cloruro de polivinilo (PVC). Las fibras de carbono que provienen de estos precursores son relativamente más económicas ya que su transformación es más efectiva que los anteriores precursores. Precursores PAN, actualmente son la base para la mayoría de las fibras comerciales

en la actualidad. La transformación en fibra de carbono al final del proceso de conversión++ está entre el 50 y el 55%.

Ojeda (2011) la fibra de carbono (CFRP *Carbón Fiber Reinforced Polymer*) es un material compuesto esencialmente de átomos de carbono, constituido por pequeñas fibras de 50-10 micras (μm) de diámetro. Los átomos de carbono que conforman las fibras de carbono se encuentran entrelazadas entre sí a través de cristales, los cuales están alineados paralelamente al eje longitudinal de la fibra, produciendo una fibra con alta resistencia en relación a su tamaño.

Ojeda (2011) dice que las principales propiedades de la fibra de carbono es que son materiales muy flexibles, altamente resistentes, livianos y de baja densidad en comparación al acero. Asimismo, resistentes a temperaturas muy altas y baja expansión térmica; poseen un bajo costo de instalación y una rápida puesta en servicio. Su composición atómica es cercana al grafito. Los microfilamentos en el grafito o placas de carbono se colocan ordenadamente unas sobre otras y se entrelazan débilmente, por lo que el grafito es blando y muchas veces transparente. En el caso de la fibra de carbono, miles de microfilamentos se agrupan de forma desordenada y densa, lo que le da gran resistencia al material.

Moncayo, Rodríguez, Alcívar, López, Soriano y Villacis (2016) consideran que la fibra de carbono tiene mejores características que el acero, debido a que su resistencia mecánica es 10 veces mayor. Asimismo, es liviano como el plástico, con una densidad de 1.750 kg/m³.

Castillo (2010) las fibras de carbono (CFRP) son las más utilizadas debido a que presentan mejores propiedades mecánicas comparado con los otros tipos de fibra. Estas son fabricadas con polímeros tipo PITCH o PAN. Las fibras a base de polímeros PITCH se fabrican del refinamiento del petróleo o brea, otorgan materiales de uso general y tienen una alta resistencia y alto módulo de elasticidad. Las fibras PAN son fabricadas con poliacrilonitrilo y producen un material de alta resistencia y alto módulo de elasticidad.

Figura 27. Fibra de Carbono en manta y en cinta.



Fuente: Elaboración propia

Llanos (2011) refiere que la fibra de carbono se empleó por primera vez en 1879. La patente la hizo Thomas Alba Edison y fue para usarlo como filamento en una bombilla eléctrica. Robert Bacon en 1958, efectuó una investigación sobre fibras de alto rendimiento en el Centro Técnico de la Unión Carbide Parma, ahora GrafTech International Holdings, Inc., que se encuentra en las afueras de Cleveland Ohio, pero sin éxito, ya que la acumulación de carbono solo llegó al 20%. En Japón en 1960, Akio Shindo de la Agencia de la Ciencia Industrial Avanzada y Tecnología, uso por primera vez el poliacrilonitrilo (PAN) y obtuvo fibra de carbono con una pureza del 55%.

De acuerdo con Mariano (2011) en 1963 el Ministerio de Defensa del Reino Unido patentó un estudio donde se obtuvo un alto potencial de la fibra de carbono, el proceso se desarrolló en la sede Real de Aeronaves en Hampshire. Posteriormente se autorizó su producción a las empresas Rolls Royce, Morganita y Courtaulds. Rolls Royce aprovechó las bondades del nuevo material para entrar en el mercado americano con motores para aviones. El apresuramiento de Rolls Royce en el uso de fibra de carbono en las aspas del compresor de los motores de aviones resultó ser vulnerables a daños por impacto de aves. El gran triunfo tecnológico de 1968 se convirtió rápidamente en un fracaso. Los problemas de Rolls Royce fueron tan grandes que en 1971 el gobierno británico tuvo que nacionalizarla y la planta de producción de fibra de carbono la vendió a la firma Bristol Composites.

Según Mariano (2011) la empresa Morganite también dejó la producción de fibra de carbono por ser un producto muy caro, de calidad variable y con mercado limitado además de ser un producto periférico respecto a su negocio principal, dejando a Courtaulds como el único fabricante de fibra de carbono. Esta compañía prosiguió con el desarrollo y la fabricación de fibra de carbono en dos mercados principales el aeroespacial y de equipamiento deportivo. La velocidad de la producción y la calidad del producto se han mejorado desde entonces. En la década de 1970, los trabajos experimentales para hallar materias primas alternativas llevaron a la introducción de fibras de carbono a partir de la transformación del petróleo. Estas fibras contenían cerca de 85% de carbono con una excelente resistencia a la flexión. Hoy en día es posible producir hilos de carbono con purezas del 95 al 99 %.

Asimismo, Llanos (2011) refiere que la fibra de carbono se combina con un tejido de hilos de carbono que aporta flexibilidad y resistencia y con una matriz de resina termoestable generalmente de tipo epoxi, que se endurece gracias a un agente solidificador que actúa uniendo las fibras, protegiéndolas y transfiriendo la carga por todo el material; por su parte el agente de curado ayuda a convertir la resina en un plástico duro. De la combinación de estos tres elementos, se obtienen las propiedades mecánicas del nuevo material, pues, aunque la malla de hilos de carbono constituya por sí sola un elemento resistente, necesita combinarse con la resina para que logre su objetivo.

El precursor de la fibra de carbono es el PAN (poliacrilonitrilo) mezcla de polímeros como el vinil acetato, metil acrilato, cloruro de vinilo y metil metacrilato todos derivados del petróleo, que es Carbono-1 concentrado, derivados de restos de materia orgánica (fósiles). En particular, el PAN que

es una fibra de plástico formada por largas cadenas escalonadas de moléculas de carbono, oxígeno, nitrógeno e hidrógeno. La fibra de carbono se produce por calcinación controlada del nitrógeno, oxígeno y elementos diferentes al carbono, dejando solo el carbono en el material. Los precursores tienen diferente técnica de proceso, pero la secuencia es una generalidad, el proceso de fabricación de fibra de carbono con PAN, tiene las siguientes el siguiente proceso:

1° Estabilización:

Durante la estabilización las fibras de PAN son expuestas a temperaturas entre los 200°C y 300°C mientras son estiradas y alargadas en un horno de oxidación, con la finalidad de darles la orientación molecular necesaria para que pueda tener estabilidad dimensional y evitar que se fundan en el siguiente proceso.

2° Carbonización:

Luego que las fibras hayan adquirido estabilidad, son expuestas a temperaturas superiores a los 1.000°C bajo una atmósfera inerte, es decir, ningún agente externo interfiere en el proceso. Durante el proceso de calentamiento los átomos de nitrógeno e hidrógeno desaparecen y los anillos hexagonales de carbono puro se orientan a lo largo de toda la longitud del hilo.

3° Grafitización:

Es un posterior proceso de calentamiento a temperaturas, por encima de 2000°C, en donde el tamaño de los cristales de carbono crecen y mejoran la orientación de los anillos en la fibra.

4° Tratamiento de superficie:

Finalmente, la fibra pasa por una cámara aplicándosele un catalizador que produce la adherencia de la fibra a la resina obteniéndose un producto primario. Los filamentos individuales de carbono 5 y 8 micras (μm) de diámetro son trenzados entre sí en grupos de 5.000 y 12.000 mechas conocidas como roving.

La fibra de carbono (CFRP) como polímero reforzado se caracterizan por:

- Peso ligero;
- Alta relación resistencia / peso;
- Muy alta relación elasticidad-peso del módulo;
- Alta resistencia a la fatiga;
- Buena resistencia a la corrosión;
- Muy bajo coeficiente de expansión térmica;
- Baja resistencia al impacto;
- Alta conductividad eléctrica;

La fibra de carbono tiene características específicas como:

- Baja densidad, material más ligero con rangos de 1.8 a 2.2 g/cm³.

- Coeficiente de dilatación muy bajo, otorga buena estabilidad dimensional a las estructuras y una conductividad térmica elevada.
- Buen conductor eléctrico y de baja conductividad térmica.
- Resistencia a diferentes temperaturas, ambientes alcalinos y corrosión.
- De sección delgada, de fácil instalación cruzadas o traslapadas.
- Elevada resistencia mecánica, con un elevado módulo de elasticidad.
- Alta rigidez y gran resistencia a la fatiga.

• **Aplicaciones y usos de la fibra de carbono.**

Según Llanos (2011) en el mundo se usa la fibra de carbono debido al avance de la ciencia y la tecnología y trasciende a muchos ámbitos, tales como:

- Medicina: Prótesis y equipamiento quirúrgico.
- Aeronáutica: Diseño de cabinas y alas.
- Automovilística: Diseño de chasis, volante, llantas, cascos protectores de alta resistencia.
- Naval: En mástiles y cascos de barcos y buques.
- Deporte: Utilizada en el diseño de chasis de bicicletas, raquetas de tenis, cascos, cañas de pescar, etc.
- Construcción: Es empleado como refuerzo estructural antisísmico, para reparaciones de estructuras, implementación en puentes.
- Musical: En el diseño del cuerpo y cuerdas de las guitarras y bajos.
- Telecomunicaciones: Computadoras portátiles, teléfonos, trípodes.
- Militar: Utilizado en el diseño de armas, cascos, etc.

2.6.2 Desarrollo del Objetivo Específico 3

Se prepararon 8 muestras circulares de concreto de $\phi 15 \times 30 \text{cm.}$, con una resistencia de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, según norma ASTM C39, NTE 060.

Figura 28. Muestras de concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.



Fuente: Elaboración propia

Cuatro de las muestras cilíndricas de concreto fueron reforzadas con fibra de carbono unidireccional en manta, de las cuatro muestras dos de ellas fueron reforzadas con fibra de carbono de 300 gr/m² y dos muestras reforzadas con fibra de carbono de 600 gr/m².

Figura 29. Muestra de concreto reforzada con Fibra de Carbono.



Fuente: Elaboración propia

Figura 30. Muestra de concreto con CFRP para ensayo.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10. Detalle de las muestras reforzadas con fibra de carbono.

MUESTRAS CILINDRICAS REFORZADAS			
Muestra	Fibra de Carbono		
	Capas (n)	gr/m²	Traslape cm.
P1	1	600	15
P2	1	600	30
P3	2	300	0
P4	3	300	0
P5	0	0	0
P6	0	0	0
P7	0	0	0
P8	0	0	0

Fuente: Elaboración propia.

Figura 31. Muestra reforzada después de ensayada.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11. Resultado de las muestras reforzadas con Fibra de Carbono.

ENSAYO DE MUESTRAS CILINDRICAS DE CONCRETO REFROZADAS CON FIBRA DE CARBONO CFRP								
Muestra de concreto \varnothing 15 x 30 cm.				Fibra de Carbono aplicada		Datos para la prueba de ensayo		Resistencia a Compresión
Código de Muestra	Resistencia Nominal Kg/cm ²	Fecha de Obtención	Fecha de Ensayo	Cantidad de vueltas (n)	gr/m ²	Área cm ²	Carga de Rotura (Kg)	Kg/cm ²
P-1	210	3/1/2016	31/03/2016	1	600	181,00	108 187,00	598
P-2	210	3/1/2018	31/03/2016	1	600	181,60	98 274,00	541
P-3	210	3/1/2018	31/03/2016	2	300	183,90	103 121,00	561
P-4	210	3/1/2018	31/03/2016	3	300	184,20	127 339,00	691
P-5	210	3/1/2018	31/03/2016	0	0	176,50	45 586,00	258
P-6	210	3/1/2018	31/03/2016	0	0	177,40	51 621,00	291
P-7	210	3/1/2018	31/03/2016	0	0	176,20	45 584,00	257
P-8	210	3/1/2018	31/03/2016	0	0	177,10	51 619,00	290

Fuente: Elaboración propia.

Según el resultado del laboratorio de ensayo de materiales, se puede observar que para la muestra P1 con una resistencia nominal de 210 kg/cm² la resistencia aumento a 598 kg/cm² para la muestra P2 la resistencia aumento a 541 kg/cm² para la muestra P3 la resistencia aumento a 561 kg/cm² y para la muestra P4 la resistencia aumento a 691 kg/cm². Con los resultados mostrados se puede tener la seguridad que el reforzamiento con fibra de carbono eleva la resistencia del concreto.

- **Verificación de resultados de laboratorio con la norma ACI 440 2R 17.**

Cálculo de la resistencia del concreto reforzado f'_{cc} con CFRP según la siguiente ecuación:

Ecuación 3. Concreto reforzado

$$f'_{cc} = f'_c + \psi_f 3.3 K_a f_l$$

Ecuación 4. Máxima resistencia del concreto reforzado

$$f_l = \frac{2 E_f n t_f \varepsilon_{fe}}{D}$$

Ecuación 5. Deformación máxima del CFRP

$$\varepsilon_{fe} = K_\varepsilon \varepsilon_{fu}$$

Dónde:

$$f'_c = 258 \text{ kg/cm}^2$$

$$\psi_f = 1$$

$$K_a = 1 \text{ (sección circular)}$$

$$K_\varepsilon = 0.55$$

$$\varepsilon_{fu} = 0.55 \varepsilon_{fu}^*$$

- **Datos de la muestra del concreto**

Diámetro D: 15cm

Altura h: 30cm

f'_c : 258 kg/cm²

- **Datos de la Fibra de Carbono (CFRP)**

Módulo de elasticidad E_f : 230 000 N/mm² = 2 345 347.29 kg/cm²

Numero de capas n: 2

Espesor de la capa t_f : 0.167 mm = 0.0167cm

Resistencia a la tracción f^*_{fm} : 3 400 N/mm² = 34 670.35 Kg/cm²

Tensión de ruptura E^*_{fu} : 0.0167mm/mm

Reemplazando valores, se tiene que:

$$f_l = \frac{2 \left(2\,345\,347.29 \frac{kg}{cm^2} \right) \times 2 \times 0.0167 \text{ cm} \times (0.55 \times 0.0167 \frac{mm}{mm})}{15 \text{ cm}} = 95.93 \frac{kg}{cm^2}$$

Conociendo la resistencia de la muestra reforzada, a saber:

$$f'_{cc} = 258 \frac{kg}{cm^2} + 1 \times 3.3 \times 1 \times 95.93 \frac{kg}{cm^2} = 574.58 \frac{kg}{cm^2}$$

El resultado obtenido 574.58 kg/cm^2 similar a la resistencia obtenida en el ensayo realizado en laboratorio de la muestra cilíndrica reforzada con fibra de carbono que fue de 561.00 kg/cm^2 . Con lo cual se comprobaría que el reforzamiento de las muestras cilíndricas de concreto reforzadas con CFRP unidireccional adheridas externamente con resina epóxica y verificado por la norma ACI 440 2R 17 elevan la resistencia del concreto.

Con ayuda del programa Excel, se realizaron los cálculos para las demás muestras reforzadas obteniéndose resistencia del concreto reforzada (f'_{cc}), similares a las muestras ensayadas en el laboratorio.

Tabla 12. Datos de la Fibra de Carbono.

Datos de las muestras cilíndricas		
Diámetro	15	cm
Altura	30	cm
f'c	258	kg/cm ²
Datos de la Fibra de Carbono		
Resistencia a la tracción f*fm:	34 670,3500	kg/cm ²
Tensión de ruptura E*fu:	0,0167	mm/mm
Módulo de elasticidad Ef:	2 345 347,2900	kg/cm ²

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13. Verificación de aumento de resistencias Norma ACI 440 2R 17.

Nº de Capas de CFRP	Deformación efectiva de la Fibra de Carbono	Espesor de la Fibra de Carbono	Presión o Esfuerzo último de confinamiento	Resistencia del concreto	Resistencias Obtenidas		Diferencia porcentual
					ACI 440 2R 17 f'_{cc}	Laboratorio UNI	
(n)	ϵ_{fe}	t_f	f_i	f'_c	Kg/cm ²	Kg/cm ²	%
	cm	cm	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	%
1	0,009185	0,0333	95,647	258	573,64	598	-4,25
1	0,009185	0,0333	95,647	258	573,64	541	5,69
2	0,009185	0,0167	95,934	258	574,58	561	2,36
3	0,009185	0,0167	143,901	258	732,87	691	5,71

Fuente: Elaboración propia

La tabla muestra los resultados obtenidos del laboratorio de ensayos de materiales y los calculados aplicando la norma ACI 440 2R 17. De acuerdo con los experimentos y cálculos realizados para conocer la efectividad del CFRP, podemos concluir que la aplicación de Fibra de Carbono en las muestras de concreto circulares si aumenta la resistencia a la compresión del concreto.

2.7. Procedimiento para el objetivo específico 4

Identificar mediante un análisis estructural las fallas potenciales ante la ampliación de dos niveles adicionales en la estructura de la galería comercial Fullmarket, 2019.

• Actividades realizadas

- Preparación de datos para ingreso al programa ETABS
- Registro y verificación de datos para el programa ETABS
- Análisis de las fallas potenciales de la estructura de la galería

2.7.1. Marco teórico del objetivo específico 4

Para identificar las potenciales fallas de la estructura de la galería frente a la ampliación de dos niveles adicionales, se realizó el análisis de la estructura con ayuda del programa ETBAS. El análisis incluyo los dos niveles adicionales del proyecto, verificándose que era necesario mayor rigidez en la estructura debido a los desplazamientos mostrados y reforzamiento de columnas en el sótano y 1er. piso de la galería debido a la carga axial de los dos niveles adicionales.

Las soluciones adoptadas en ambos casos fueron analizadas y verificadas para tener la certeza que eran las correctas. Se verifico la solución para los desplazamientos con perfiles de acero del tipo ASTM A-572 GR 50 evidenciando su aporte y rigidez en la estructura. Para la nueva carga axial se reforzaron las columnas con fibra de carbono unidireccional adherida externamente con

resina epóxica. Un diagrama de interacción bilineal mostro la curva de la columna sin reforzamiento y la curva de la columna reforzada donde se observó el aumento de la resistencia de la columna. En cuadro aparte se verifico la cantidad de capas o vueltas de fibra de carbono que fueron necesarias para el aumento de la resistencia.

- **Teoría de diagrama de interacción de columnas**

Según Ottazzi (2014) el diagrama de interacción es una interpretación gráfica del comportamiento de la sección de una columna, permite conocer la resistencia a compresión pura, a flexo-compresión y a flexión pura ante dos tipos de solicitaciones fuerza axial y momentos.

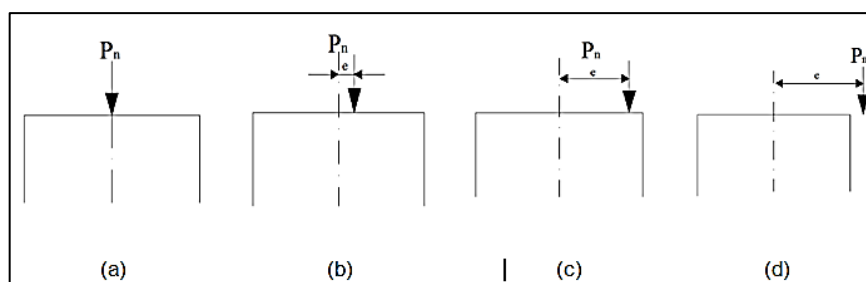
En el diagrama de interacción se representa la capacidad de la columna; la demanda es el resultado del análisis estructural. Cada coordenada en el diagrama representa un punto; en las abscisas se representan los momentos y en las ordenadas las fuerzas axiales. Cada combinación de carga y momento genera una curva, todo lo que este dentro es lo que soporta la columna.

Ottazzi (2014) menciona que cuando se construye un diagrama de interacción se asume un valor del eje neutro, el cual se va cambiando para obtener más puntos que definan el diagrama. En cada análisis, para cada eje neutro, se evalúa si los esfuerzos son a compresión o tensión y se calcula la fuerza axial y el momento actuante. Lo mismo sucede para el comportamiento biaxial de la columna, sólo que se va rotando la aplicación de las fuerzas fuera de sus ejes principales para obtener una superficie de interacción.

De acuerdo con Mc Cormac & Brown (2011) las columnas en una edificación están sujetas a flexiones y fuerzas axiales, por lo que su diseño deberá resistir ambas solicitudes. Los momentos son los que causan la flexión de la columna cuando esto sucede un lado de columna se comprime y el opuesto se tensiona, dependiendo de las magnitudes de las cargas axiales y momentos la sección de la columna puede fallar.

Una muestra a continuación de cómo se ve la columna cuando se coloca una carga cada vez con mayor excentricidad produciendo momentos mayores, hasta que finalmente la columna se flexiona y hace que el efecto de la carga axial sea insignificante. La falla en la columna ocurre cuando la deformación unitaria a compresión en el concreto alcanza el valor 0.003.

Figura 32. Compresión pura, excentricidad y aumento de excentricidad.



Fuente: Mc Cormac y Brown (2011)

De la figura anterior se puede determinar lo siguiente: en (a) la falla ocurre por compresión del concreto, el acero como refuerzo en la columna llegan a su grado de fluencia en compresión; en (b) hay un momento flexionante a la cual sujeta la columna que genera excentricidad, toda la columna estará a compresión, pero la compresión será mayor en un lado que en el otro. La resistencia máxima del concreto armado de la columna será de $0.85 f'c$ y la falla ocurrirá por aplastamiento; en (c) en un lado de la columna se genera tracción, mientras que en el otro se genera compresión. La falla ocurre por aplastamiento del concreto armado en el lado a compresión; en (d) aumenta la excentricidad, el concreto y el acero llegan a su grado de fluencia. El acero por el lado tensionado y el concreto por el lado a compresión = $0.85 f'c$. Se denomina falla balanceada.

- **El Centroide Plástico**

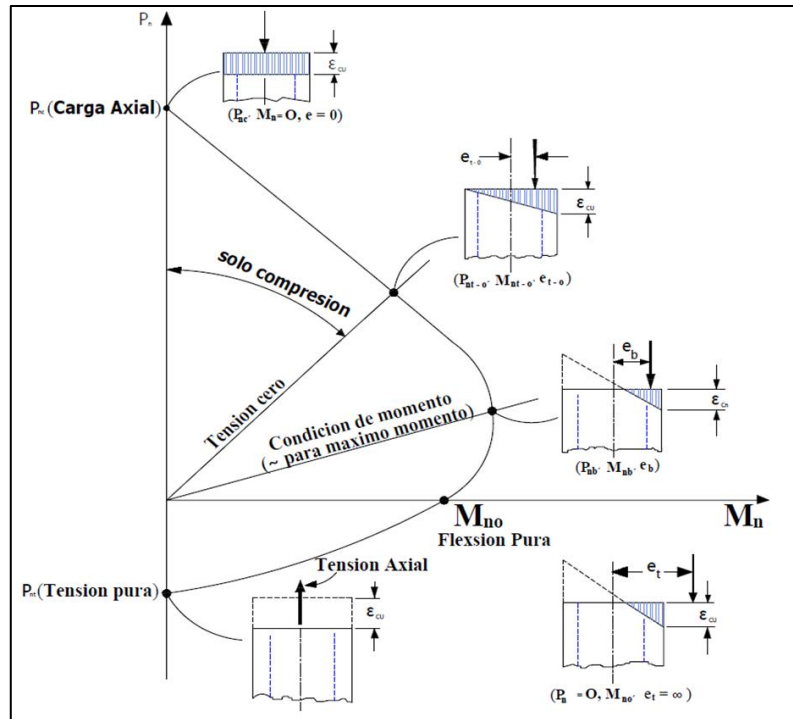
Para McCormac y Brown (2011) en la columna el centroide plástico es la posición de la fuerza resultante generada por el concreto armado, la distancia generada entre la carga y el centroide plástico se denomina excentricidad. Es el lugar en la sección transversal de la columna por donde debe pasar la carga para generar una deformación unitaria uniforme en el momento de la falla. Localizamos el centroide plástico suponiendo que el concreto está trabajando con una resistencia a compresión de $0.85f'c$ y el acero a f_y a tracción. El centroide plástico en secciones simétricas coincide con el centro de masa de la sección de la columna, mientras que, en secciones no simétricas, el centroide plástico puede localizarse tomando momentos.

- **Desarrollo de los Diagramas de Interacción**

De acuerdo con McCormac y Brown (2011) si a una columna de concreto armado se le aplica una carga axial a compresión, éste quedará sometido a una deformación unitaria. Si aplicamos a la columna solo momento sin carga axial, se generará una flexión respecto a su eje neutro, en ese caso la deformación unitaria será proporcional a la distancia del eje neutro. Si a la columna se le aplica simultáneamente una carga axial y un momento, la deformación unitaria en una parte de la columna será una combinación de valores y en otra las deformaciones unitarias se determinarán por interpolación lineal.

Si la carga axial aplicada a una columna es cambiada, el momento que la columna puede resistir también cambiará. En el ejemplo se puede ver cómo para una columna en particular se desarrolla una curva de interacción para carga axial nominal y momento.

Figura 33. Elemento sometido a Flexo compresión.

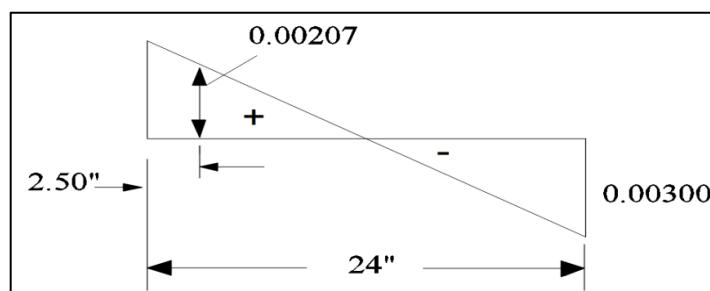


Fuente: McCormac y Brown (2011)

Según McCormac y Brown (2011) la última capacidad de la columna se alcanza cuando el concreto llega a su deformación unitaria a compresión de 0,003. El acero más cercano en el lado a tracción de la columna alcanza la deformación unitaria de fluencia o aún más cuando el concreto alcanza una deformación unitaria de 0,003, se dice que la columna está controlada a tracción; de lo contrario, está controlada a compresión. No es posible para las columnas prevenir fallas repentinas a compresión o fallas balanceadas. Existe una situación de carga balanceada en toda columna, donde una carga última P_{bn} colocada con una excentricidad e_b producirá un momento M_{bn} , donde las deformaciones unitarias se alcanzarán simultáneamente.

En una falla balanceada de una columna el concreto tiene una deformación unitaria de $-0,003$ en el lado a compresión y una deformación unitaria del acero a tracción de $0,0021$

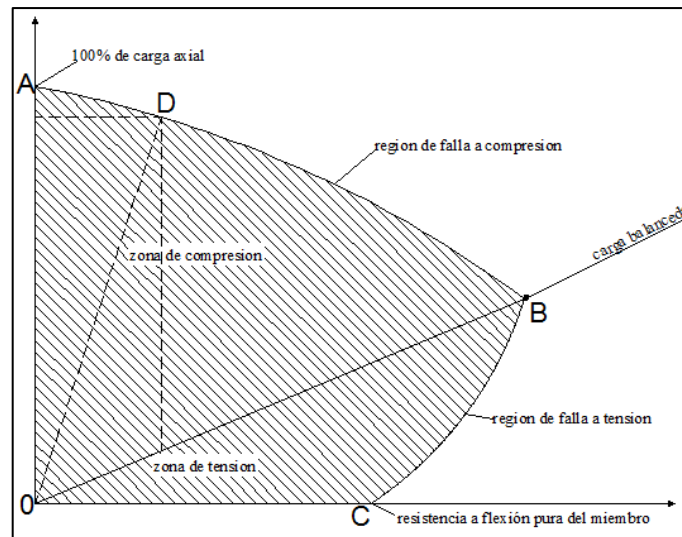
Figura 34. Gráfico de condición balanceada.



Fuente: McCormac y Brown (2011)

Según McCormac y Brown (2011) los diagramas de interacción son adecuados para analizar las resistencias de las columnas con magnitudes variables de cargas axiales y de momentos. Cualquier combinación de cargas que se encuentre fuera de la curva de diseño indica una falla, mientras que cargas que se encuentren dentro de la curva de diseño son satisfactorias.

Figura 35. Diagrama de interacción de columna



Fuente: McCormac y Brown (2011)

De acuerdo con McCormac y Brown (2011) si una columna según el ejemplo se carga hasta la falla con sólo una carga axial, la falla ocurrirá en el punto A del ejemplo mostrado. Si movemos la carga sobre la curva desde el punto A, la capacidad de la carga axial disminuirá y simultáneamente aumentará el momento flexionante. El punto C parte inferior de la curva, representa la resistencia por flexión del miembro sometido sólo a momento, sin presencia de carga axial. Entre los puntos A y C, la columna falla debido a una combinación de carga axial y de flexión. La falla balanceada se da en el punto B y representa el caso de carga balanceada, donde simultáneamente en teoría ocurre una falla del concreto a compresión y del acero a tracción.

Las líneas punteadas horizontal y vertical en el punto D, muestran una combinación particular de momento y carga axial que causará la falla de la columna. Una línea trazada del punto 0 al punto D o a cualquier otro punto en la curva de interacción representará una excentricidad constante de carga, es decir, una relación constante de momento a carga axial. En la curva B C del diagrama la flexión es predominante. En la curva A B el momento aumenta y la carga axial disminuye, lo contrario ocurre en la curva B C cuyo resultado es lógico. En la curva B C se representa la falla a tensión. Cualquier carga axial a compresión en ese intervalo reduce el esfuerzo a tensión del acero, pudiendo resistirse un momento mayor.

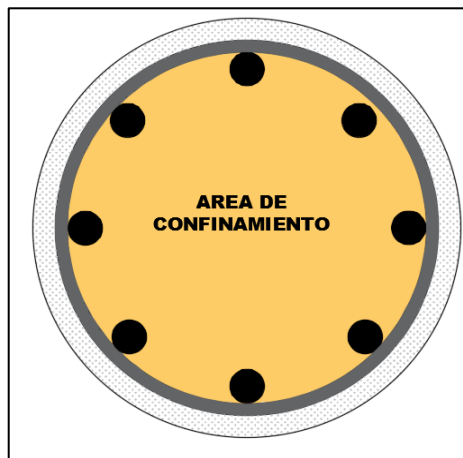
- **Cálculo del reforzamiento con Fibra de Carbono CFRP**

El cálculo del reforzamiento con CFRP, está basado en la norma ACI-440-2R-17-Guia para el Reforzamiento externo con CFRP para estructuras de concreto, que en su concepción distingue:

- Columnas con secciones circulares y no circulares
- Reforzamiento de columnas circulares y no circulares
- Área de confinamiento de columnas circulares y no circulares

El cálculo de aumento de resistencia de la columna se define por la cantidad de capas o vueltas de fibra de carbono CFRP que la columna debe tener para alcanzar la resistencia requerida.

Figura 36. Área de confinamiento de columna circular



Fuente: Norma ACI 440 2R 17

Como hemos visto anteriormente las pruebas de laboratorio y cálculos para obtener y verificar el aumento de resistencia se han realizado con muestras de concreto cilíndricas, sin embargo, el área de confinamiento de una columna circular es diferente al área de confinamiento de una columna no circular.

Figura 37. Área de confinamiento de columna no circular



Fuente: Norma ACI 440 2R 17

La figura anterior muestra el área de confinamiento efectivo de un elemento no circular que está en función del radio de curvatura por lo que mejorando la curvatura mejora la eficiencia del confinamiento.

La ACI establece los factores de forma K_a y K_b que dependen del área efectiva del concreto confinado (A_e) relacionados con los lados de la columna, la siguiente ecuación permite hallar los factores K_a y K_b .

Ecuación 6. Factor de eficiencia del CFRP basado en f'_{cc}

$$K_a = \frac{A_e}{A_c} \left(\frac{b}{h} \right)^2$$

Ecuación 7. Factor de eficiencia del CFRP basado en \mathcal{E}_{ccu}

$$K_b = \frac{A_e}{A_c} \left(\frac{h}{b} \right)^{0.5}$$

Para los elementos con secciones no circulares; rectangulares o cuadradas reforzadas con CFRP las pruebas han mostrado que incrementar marginalmente la resistencia del concreto confinado (f'_{cc}) del elemento, las recomendaciones del ACI es que el confinamiento no se recomienda para elementos cuya relación $\frac{h}{b}$ sea mayor que 2 o que las dimensiones de las caras b o h excedan 90cm, a menos que las pruebas demuestren lo contrario.

Para columnas con secciones transversales no circulares, la ecuación para hallar la máxima presión de confinamiento (f_i) corresponde al uso de una sección transversal circular equivalente con un diámetro D igual a la diagonal de la sección transversal rectangular.

Ecuación 8. Máxima presión de confinamiento

$$f_i = \frac{2E_f n t_f \varepsilon_{fe}}{D}$$

Dónde:

E_f = Módulo de elasticidad de la Fibra de Carbono

n = Número de vueltas o capas de fibra de carbono

t_f = Espesor de la fibra de carbono

ε_{fe} = Deformación efectiva de la fibra de carbono

D = Diagonal de la sección transversal

La diagonal de sección transversal circular equivalente (D) se puede hallar con la siguiente ecuación:

Ecuación 9. Diagonal de la sección transversal

$$D = \sqrt{b^2 + h^2}$$

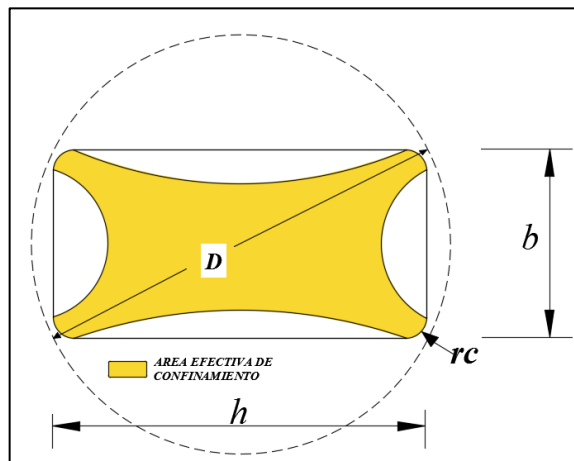
❖ **Área Efectiva de Confinamiento (A_e)**

El área efectiva de confinamiento para columnas no circulares la determinan 4 parábolas dentro de las cuales el concreto está reforzado; la forma de las parábolas y el área resultante del confinamiento efectivo está en función de las dimensiones de la columna (b y h), el radio de las esquinas r_c y el refuerzo longitudinal del acero (ρ_g) expresado como:

Ecuación 10. Área efectiva de confinamiento

$$\frac{A_e}{A_c} = \frac{1 - \left[\left(\frac{b}{h} \right) (h - 2r_c)^2 + \left(\frac{h}{b} \right) (b - 2r_c)^2 \right] \rho_g}{3A_g - \rho_g}$$

Figura 1 Área de confinamiento de columna no circular



Fuente: Norma ACI 4410 2R 17

❖ **Procedimiento para el reforzamiento de columna de concreto no circular para aumentar la carga axial.**

Con ayuda de la hoja de cálculo Excel realizamos los cálculos para el reforzamiento de la columna, así como para su diagrama de interacción. Lo que demostró como la aplicación de la fibra

de carbono CFRP aumenta la resistencia de la columna. El diagrama de interacción graficó carga axial y momentos para dos curvas, una con reforzamiento y la otra sin reforzamiento. En el marco teórico se desarrolló el proceso a seguir para la obtención de la cantidad de fibra de carbono que deberá aplicarse a la columna para obtener aumento en su resistencia.

Para el cálculo del reforzamiento CFRP fue necesario contar con las propiedades de la Fibra de Carbono del fabricante. Si las columnas a reforzar se encuentran en un ambiente interior se utilizará un factor de reducción ambiental de 0.95.

Ecuación 11. Resistencia a la tracción del CFRP

$$f_{fu} = C_E f_{fu}^*$$

Dónde:

f_{fu} = Resistencia a la tracción del CFRP

C_E = Factor de reducción ambiental; $Int = 0.95$, $Ext = 0.85$

f_{fu}^* = Resistencia a la tracción del CFRP del fabricante

En segundo lugar, se determinó la resistencia máxima a compresión del concreto reforzado (f'_{cc}) utilizando la siguiente ecuación.

Ecuación 12. Resistencia máxima a compresión del concreto reforzado

$$f'_{cc} = \frac{1}{0.85 (A_g - A_{st})} \left(\frac{\phi P_{n,req}}{0.80\phi} - f_y A_{st} \right)$$

Se calculó la máxima presión de confinamiento (f'_ℓ) de la fibra de carbono CFRP como envolvente.

Ecuación 13. Máxima presión de confinamiento

$$f'_\ell = \frac{f'_{cc} - f'_c}{3.3k_a}$$

Dónde:

$$K_a = \frac{A_e}{A_c} \left(\frac{b}{h} \right)^2$$

Ecuación 14. Radio y relación de acero de refuerzo longitudinal

$$\frac{A_e}{A_c} = \frac{1 - \frac{\left[\left(\frac{b}{h} \right) (h - 2r_c)^2 + \left(\frac{h}{b} \right) (b - 2r_c)^2 \right] - P_g}{3A_g}}{1 - P_g}$$

Los valores obtenidos se utilizaron en la ecuación para calcular el número de capas o vueltas que la columna requerirá para la resistencia requerida.

Ecuación 15. Cálculo del número de capas de CFRP

$$n = \frac{f_\ell \sqrt{b^2 + h^2}}{2E_f t_f \varepsilon_{fe}}$$

$$\varepsilon_{fe} = \kappa_e \varepsilon_{fu}$$

Se verifico que el porcentaje mínimo de confinamiento debe ser mayor o igual a 0.008

$$\frac{f_\ell}{f'_c} \geq 0.08$$

También se verifico la deformación unitaria del concreto confinado $\varepsilon_{ccu} \leq 0.01$

Ecuación 16. Deformación unitaria de concreto confinado

$$\varepsilon_{ccu} = \varepsilon'_c \left(1.5 + 12K_b \frac{f_\ell}{f'_c} \left(\frac{\varepsilon_{fe}}{\varepsilon'_c} \right)^{0.45} \right)$$

Donde

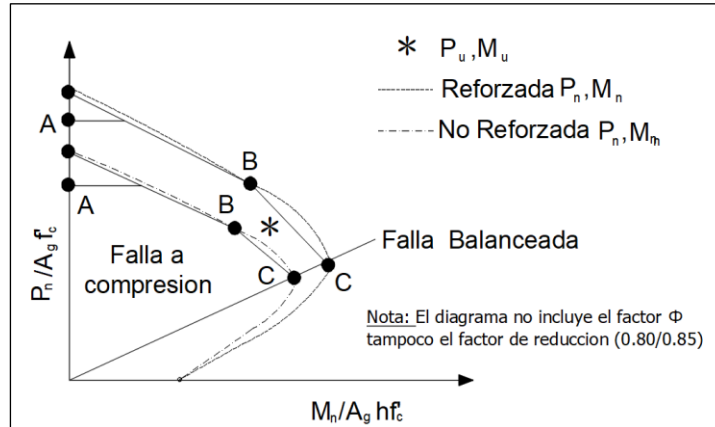
$$K_b = \frac{A_e}{A_c} \left(\frac{h}{b} \right)^{0.5}$$

En caso la deformación unitaria del concreto confinado (ε_{ccu}) sea mayor que 0.01, entonces la resistencia máxima a compresión del concreto confinado (f'_{cc}) deberá recalcularse.

❖ Diagrama de interacción de columna no circular reforzada con CFRP

Para el diagrama de interacción correspondiente se calculó la carga axial o combinaciones de carga axial y flexo compresión de acuerdo con la norma ACI 440 2R 17.

Figura 38. Diagrama de interacción de columna con y sin reforzamiento



Fuente: ACI 440 2R 17

Para el cálculo de la carga axial por compresión pura para columnas reforzadas con fibra de carbono se utilizó la siguiente ecuación:

❖ **Para columnas Circulares.**

Ecuación 17. Carga Axial pura columnas circulares con CFRP

$$\phi P_n = 0.85\phi [0.85f'_{cc}(A_g - A_s) + f'_y A_{st}]$$

❖ **Para columnas No circulares.**

Ecuación 18. Carga Axial pura columnas no circulares con CFRP

$$\phi P_n = 0.80\phi [0.85f'_{cc}(A_g - A_s) + f'_y A_{st}]$$

Dónde:

f'_c = Resistencia a la compresión del concreto no confinado.

f'_{cc} = Resistencia a la compresión del concreto reforzado.

ϕ = Factor de reducción de resistencia.

Tabla 14. Factores de reducción de resistencia

Factor de reducción de resistencia a compresión y flexo compresión Norma E.060	ϕ
Elementos con espirales	0,75
Elementos con estribos	0,70

Fuente: Norma ACI 440 2R 17 (2017)

Cálculo de la carga nominal del concreto no confinado, es $0.85f'_c$

Ecuación 19. Carga nominal concreto no confinado

$$\phi P_n = 0.85\phi[0.85f'_c(A_g - A_s) + f'_y A_{st}]$$

Cálculo del esfuerzo deformación según modelo de Lam y Teng (2003 a, b), usando las siguientes expresiones:

Ecuación 20. Cálculo de esfuerzo deformación

$$f_c = \begin{cases} E_c \varepsilon_c - \frac{(E_c - E_2)^2}{4f'_c} & 0 \leq \varepsilon_t \leq \varepsilon'_t \\ f'_c + E_2 \varepsilon_c & \varepsilon'_t \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon'_{c,max} \end{cases}$$

Dónde:

$$E_2 = \frac{f'_{cc} - f'_c}{\varepsilon_{ccu}}$$

y

$$\varepsilon'_t = \frac{2 f'_c}{E_c - E_2}$$

Según ACI (2017) la máxima resistencia confinada a compresión f'_{cc} y el máximo esfuerzo f_{ℓ} son calculados usando las siguientes ecuaciones, pero incluyendo un factor adicional $\Psi_f = 0.95$ (factor basado en el juicio del comité).

Ecuación 21. Resistencia máxima confinada

$$f'_{cc} = f'_c + \psi_f 3.3 k_a f_{\ell}$$

$$Y: f_{\ell} = \frac{2E_f n t_f \varepsilon_{fe}}{D}$$

Dónde:

f_{ℓ} = Máxima resistencia del concreto reforzado con CFRP

K_a = Factor de eficiencia del CFRP, basado en f'_{cc} depende de la geometría de la sección, circular o no circular

E_f = módulo de elasticidad a tracción del CFRP.

n = número de capas del refuerzo con CFRP

ε_{fe} = Nivel efectivo de deformación del CFRP al llegar a la rotura.

D = Diámetro del área de compresión de la sección del elemento.

Luego el nivel efectivo de deformación a la rotura del CFRP (ε_{fe}) se calculó con la siguiente ecuación

Ecuación 22. Nivel efectivo de la deformación

$$\varepsilon_{fe} = k_e \varepsilon_{fu}$$

Dónde:

k_e = Factor de eficiencia para la falla prematura del CFRP, un valor de 0.586.

ε_{fu} = deformación última a la rotura del refuerzo con CFRP.

Basados en la investigación de Lam y Teng (2003 a,b), el ratio $\frac{f_{\ell}}{f'_c}$ no debe ser menor que 0.08.

El cálculo de la deformación máxima a compresión del concreto con CFRP (ε_{ccu}). Se uso la siguiente ecuación, limitada por que $\varepsilon_{ccu} \leq 0.01$

Ecuación 23. Deformación máxima

$$\varepsilon_{ccu} = \varepsilon'_c \left(1.5 + 12\kappa_b \frac{f_\ell}{f'_c} \left(\frac{\varepsilon_{f\ell}}{\varepsilon'_c} \right)^{0.45} \right)$$

Dónde:

κ_b = Factor de eficiencia basado en la deformación máxima del concreto reforzado ε_{ccu} que depende de la geometría de la sección.

ε'_c = Deformación máxima de concreto no confinado correspondiente al f'_c puede ser tomado 0.002

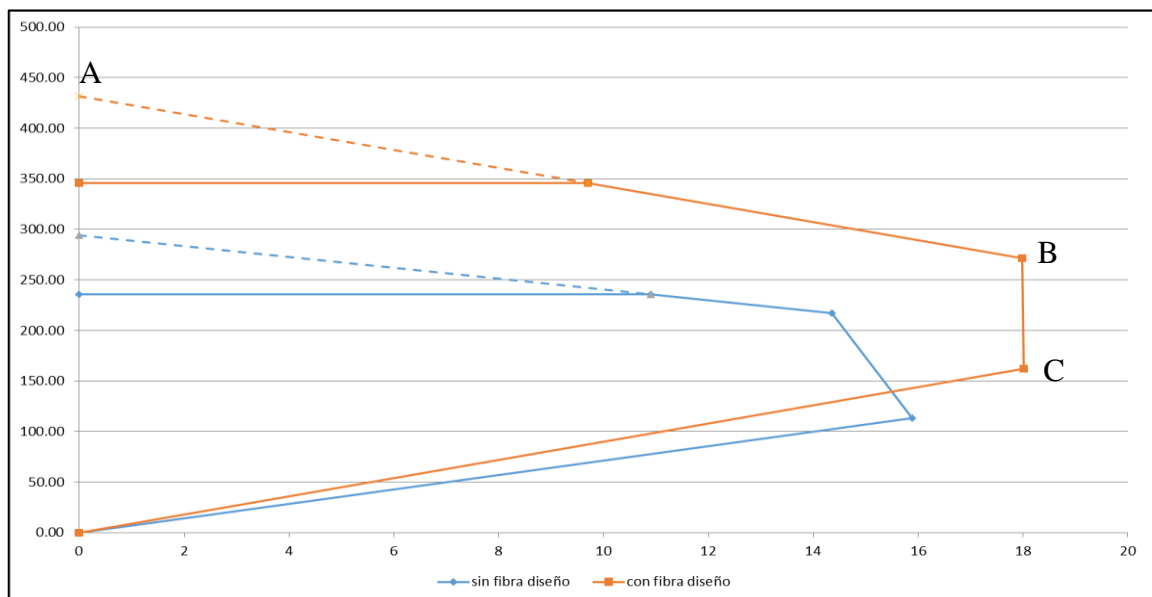
Los elementos con secciones circulares con CFRP son más eficientes, solo cuando las fibras del CFRP están alineadas transversalmente al eje longitudinal del elemento en ese caso el factor κ_a y κ_b es 1.

Según ACI 440 2R 17, para los elementos con secciones no circulares; las pruebas mostraron que el reforzamiento con CFRP incrementa marginalmente la resistencia (f'_{cc}) del elemento, cuando la relación $\frac{h}{b}$ sea mayor que 2 o las dimensiones de las caras b o h del elemento excedan 90cm, se recomienda no usarlo a menos que las pruebas demuestren lo contrario.

En el diagrama de interacción se consideró aumento de resistencia cuando la carga axial y momento flector (P_u y M_u) están por encima de la curva del elemento no reforzado.

Para simplificar, la parte de los diagramas de interacción (P y M) reforzados y no reforzados, estos se redujeron a dos curvas bilineales que pasan por los siguientes puntos.

Figura 39. Diagrama de interacción de columna con y sin confinamiento



Fuente: Elaboración propia

En la figura mostrada, se puede observar dos curvas, la curva de color azul muestra la columna sin reforzamiento con una resistencia de 235 ton, mientras que la curva de color rojo muestra la columna reforzada con #n=4 de CFRP con 345 ton., se puede ver como de una resistencia inicial de 235 ton., la columna pasa a tener después de reforzada una resistencia de 345 ton.

El punto A muestra deformación axial a compresión pura de la columna de concreto reforzada; el punto B muestra la deformación cero correspondiente a la deformación en la capa de refuerzo de acero longitudinal más cercana a lado traccionado y a flexo compresión en el lado opuesto; el punto C muestra una distribución de deformación correspondiente a una falla balanceada con una flexo-compresión máxima y una deformación a la tracción.

Para el concreto reforzado, el valor de ϕP_n correspondiente al punto A (ϕM_n es igual a cero) se da en la ecuación, mientras que las coordenadas de los puntos B y C se pueden calcular como:

Ecuación 24. Calculo deformación del concreto reforzada.

$$\phi P_{n(B,C)} = \phi(A(y_t)^3 + B(y_t)^2 + C(y_t) + D) + \Sigma A_{si} f_{si}$$

Ecuación 25. Calculo Momento del concreto confinado

$$\phi M_{n(B,C)} = \phi(E(y_t)^4 + F(y_t)^3 + G(y_t)^2 + H(y_t) + 1) + \Sigma A_{si} f_{si} d_i$$

Dónde:

$$A = \frac{-b(E_c - E_2)^2}{16f'_c} \left(\frac{\varepsilon_{ccu}}{c} \right)^2$$

$$B = \frac{b(E_c - E_2)}{2} \left(\frac{\varepsilon_{ccu}}{c} \right)$$

$$C = bf'_c$$

$$D = bf'_c + \frac{bcE_2}{2} (\varepsilon_{ccu})$$

$$E = \frac{-b(E_c - E_2)^2}{16f'_c} \left(\frac{\varepsilon_{ccu}}{c} \right)^2$$

$$F = b \left(c - \frac{h}{2} \right) \frac{(E_c - E_2)^2}{12f'_c} \left(\frac{\varepsilon_{ccu}}{c} \right)^2 + \frac{b(E_c - E_2)}{3} \left(\frac{\varepsilon_{ccu}}{c} \right)$$

$$G = -\left(\frac{b}{2} f'_c + b\left(c - \frac{h}{2}\right) \frac{(E_c - E_2)}{2} \left(\frac{\varepsilon_{ccu}}{c}\right)\right)$$

$$H = b f'_c \left(c - \frac{h}{2}\right)$$

$$I = \frac{bc^2}{2} f'_c - bc f'_c \left(c - \frac{h}{2}\right) + \frac{bc^2 E_2}{3} (\varepsilon_{ccu}) - \frac{bc E_2}{2} \left(c - \frac{h}{2}\right) (\varepsilon_{ccu})$$

2.7.2. Desarrollo del procedimiento para el objetivo 4

Identificar en qué medida la aplicación de refuerzos de la Fibra de Carbono mejoran la resistencia ante la ampliación de dos niveles adicionales según el análisis estructural realizado en la galería comercial Fullmarket, 2019.

Para identificar las posibles fallas que ocasionaría el desarrollo del proyecto de ampliación de dos pisos adicionales, se realizó un segundo análisis estructural que consistió en evaluar la estructura existente agregando un tercer y cuarto nivel, tomando en cuenta la Norma E.030 y considerando los efectos de una envolvente de cargas debido al peso propio, la sobrecarga y el sismo.

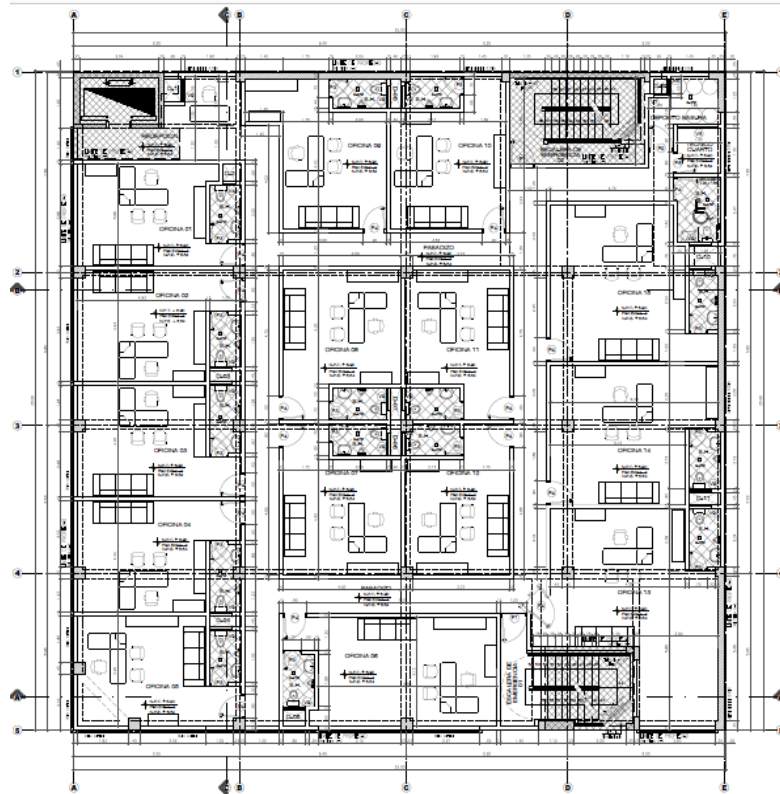
Figura 40. Diseño 3D del Proyecto de ampliación.



Fuente: Elaboración propia

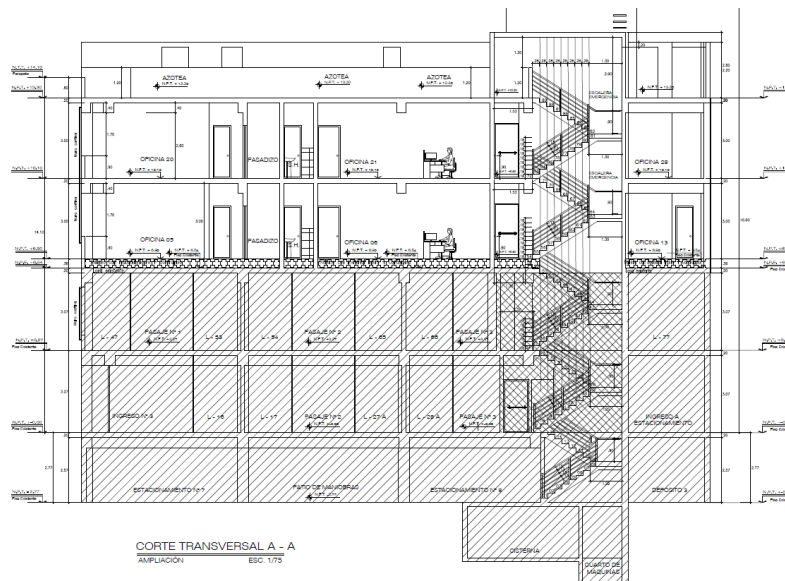
La figura muestra el proyecto de ampliación de la galería con dos pisos adicionales proyectados para el uso de oficinas para servicios profesionales.

Figura 41. Planta típica 3er. y 4to. Nivel proyecto de ampliación



Fuente: Elaboración Propia

Figura 42. Corte A-A Galería Fullmarket Ampliación de 2 niveles.



Fuente: Elaboración propia

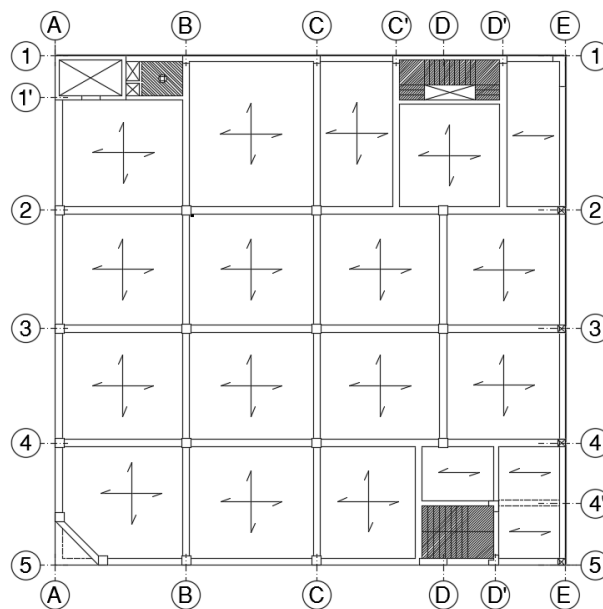
La figura muestra el plano un corte de elevación de la galería incluyendo los dos pisos adicionales destinados a oficinas que el proyecto requiere.

❖ **Análisis estructural de la edificación para el proyecto con dos pisos adicionales.**

• **Configuración estructural.**

El Sistema Estructural Predominante en la dirección X es mixto conformado por pórticos y muros de corte de Concreto Armado, mientras que en la dirección Y es similar al de la dirección X, de esta manera las normas principales que rigen sus diseños son la E060 de Concreto Armado.

Figura 43. Vista de planta de sección típica del edificio de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

Se verifica las condiciones estructurales de regularidad, de acuerdo con lo contemplado en la NTE E030.

• **Irregularidades estructurales en altura** ($I_a = 1.0$).

Irregularidad de Rigidez – Piso Blando. No presenta.

Irregularidad de Resistencia – Piso Débil. No presenta.

Irregularidad Extrema de Rigidez - No presenta.

Irregularidad Extrema de Resistencia - No presenta.

Irregularidad de Masa o Peso – No presenta

Irregularidad Geométrica Vertical - No presenta.

Discontinuidad en los Sistemas Resistentes - No presenta.

Discontinuidad extrema de los Sistemas Resistentes - No presenta.

- **Irregularidades estructurales en planta** ($I_p = 0.75$).

Irregularidad Torsional. Sí presenta. ($I_p = 0.75$).

Irregularidad Torsional Extrema - No presenta.

Esquinas Entrantes. No presenta.

Discontinuidad del Diafragma - No presenta.

Sistemas no Paralelos - No presenta.

La estructura clasifica como Irregular con un factor de irregularidad $I_p = 0.75$. I_p

- **Análisis de la estructura proyectada.**

Se empleó el programa de análisis estructural ETABS 16.2.1 que emplea el método matricial de rigidez y de elementos finitos. Se modeló la geometría de la estructura y las cargas actuantes.

- **Cargas.**

A continuación, se detallan las cargas consideradas en el análisis por gravedad de acuerdo con la Norma E-020 del RNE:

Peso propio Concreto	2 400 kg/m ³
Peso losa aligerada 1 dirección	300 kg/m ²
Peso losa aligerada 2 direcciones	408 kg/m ²
Peso acabado	100 kg/m ²
Peso tabiquería	100 kg/m ²
S/C Tiendas	500 kg/m ²
S/C Oficinas	250 kg/m ²
S/C Pasadizos tiendas	500 kg/m ²
S/C Pasadizos oficinas	400 kg/m ²
S/C techos	200 kg/m ²

- **Combinaciones de Cargas.**

Se consideran las combinaciones exigidas por la Norma E060:

1.4 D + 1.7 L

$$1.25 D + 1.25 L + 1.0 SX$$

$$1.25 D + 1.25 L + 1.0 SY$$

$$0.9 D + 1.0 SX$$

$$0.9 D + 1.0 SY$$

Para el diseño de vigas se trazaron las envolventes de fuerzas.

- **Características de los materiales.**

- **Concreto.**

Resistencia a la compresión: $f_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$

Módulo de elasticidad $E = 218,819 \text{ Kg/cm}^2$

Módulo de poisson $\mu = 0.20$

- **Acero de refuerzo.**

Resistencia a la fluencia del acero grado 60: $F_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$

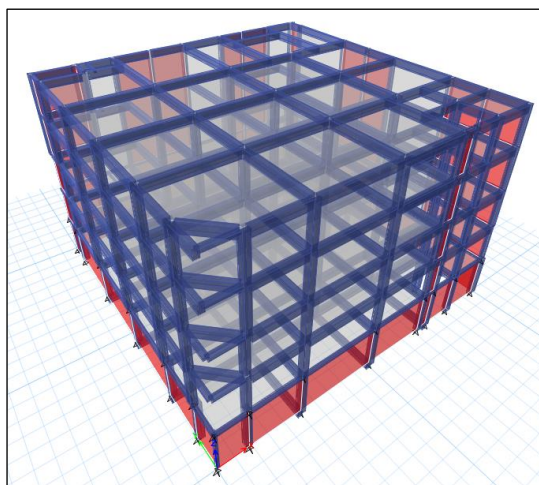
Resistencia a la fluencia del acero ASTM A-572 GR 50: $F_y = 3520 \text{ Kg/cm}^2$

Módulo de elasticidad del acero $E = 2,100,000 \text{ Kg/cm}^2$

- **Modelo estructural.**

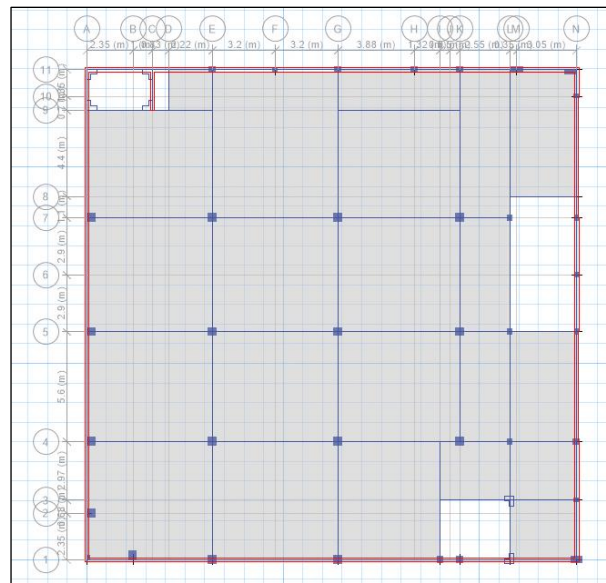
El modelo empleado para vigas y columnas consistió en barras de eje recto que incluyen deformaciones por flexión, carga axial, fuerza cortante y torsión. Este modelo considera el efecto tridimensional del aporte de rigidez de cada elemento estructural. Para modelar los muros de corte se emplearon elementos tipo Shell (Áreas) que incluyen el efecto de membrana y de flexión.

Figura 44. Modelo estructural elaborado en el software ETABS 16.2.1.



Elaboración propia.

Figura 45. Planta sótano de la galería elaborado en el software ETABS 16.2.1.



Fuente: Elaboración propia.

- **Masas para el análisis dinámico modal y sísmico.**

Las masas provenientes de las losas, piso terminado, y de la sobrecarga se concentran a nivel del centro de masas de cada losa; y las masas provenientes del peso propio de las vigas y columnas se consideran distribuidas en toda su longitud. Luego el programa lleva la masa de los elementos estructurales hacia los nudos extremos. En el cálculo de la masa de la estructura se consideró el 50% de la carga viva (Cap. 4, Art.16.3, RNE E.030).

- **Análisis sísmico**

Se realizó un Análisis Sísmico Dinámico por Superposición Modal Espectral. Los parámetros empleados para el cálculo del Espectro de Respuesta son:

Factor de Zona $Z = 0.45$ (Zona 4)

Factor de Uso $U = 1.3$ (Categoría B - Edificaciones Importantes)

Factor de Suelo $S = 1.0$, (Perfil tipo S1 - Roca o Suelos Muy Rígidos)

$T_p = 0.4s$

$T_L = 2.5s$

$C = 2.5$

Coefficiente de Reducción: (Pórticos de Concreto Armado $R = 8$)

$R_{xx} = 8 \times 0.75 = 6$

$R_{yy} = 8 \times 0.75 = 6$

La cortante estática es:

$$\frac{ZUSC}{R_x} = 2.39$$

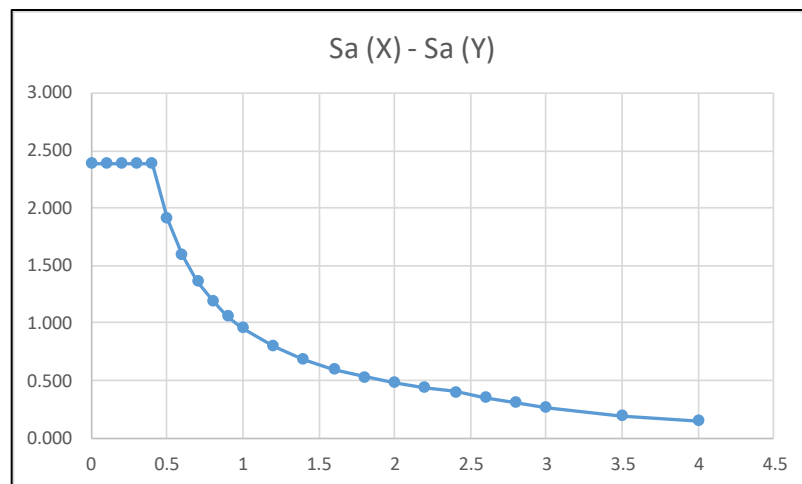
$$\frac{ZUSC}{R_y} = 2.39$$

Tabla 15. Diagrama de espectro de aceleraciones.

T	C	Sa (x)	Sa (Y)
0,00	2,50	2,391	2,391
0,10	2,50	2,391	2,391
0,20	2,50	2,391	2,391
0,30	2,50	2,391	2,391
0,40	2,50	2,391	2,391
0,50	2,00	1,913	1,913
0,60	1,67	1,594	1,594
0,70	1,43	1,366	1,366
0,80	1,25	1,196	1,196
0,90	1,11	1,063	1,063
1,00	1,00	0,956	0,956
1,20	0,83	0,797	0,797
1,40	0,71	0,683	0,683
1,60	0,63	0,598	0,598
1,80	0,56	0,531	0,531
2,00	0,50	0,478	0,478
2,20	0,45	0,435	0,435
2,40	0,42	0,399	0,399
2,60	0,37	0,354	0,354
2,80	0,32	0,305	0,305
3,00	0,28	0,266	0,266
3,50	0,20	0,195	0,195
4,00	0,16	0,149	0,149

Elaboración propia.

Figura 46. Espectro de aceleraciones con ampliación



Elaboración propia.

En la figura se muestra el análisis dinámico, define el periodo y la aceleración del suelo (S_a) evaluando el rango elástico e inelástico de la edificación.

- **Verificación de desplazamientos permisibles según la norma E030 RNE**

Se proyectó la estructura de acuerdo con el proyecto de ampliación, esto implica la continuación de muros de corte y columnas, así como las secciones de vigas y losas se mantienen en los pisos proyectados, luego del análisis estructural se obtuvieron los siguientes desplazamientos:

Tabla 16. Cálculo de los desplazamientos permisibles según E-030 RNE.

NIVEL	h (m)	Desplazamiento por piso		Desplazamiento 0,75 R		Distorsión por piso		$\Delta x / h$	$\Delta y / h$
		Ux (m)	Uy (m)	Ux (m)	Uy (m)	Δx (m)	Δy (m)		
4	3,20	0,022346	0,020934	0,1006	0,0942	0,0169	0,0185	0,0053	0,0058
3	3,56	0,018597	0,016815	0,0837	0,0757	0,0290	0,0279	0,0081	0,0078
2	3,27	0,012160	0,010624	0,0547	0,0478	0,0320	0,0285	0,0098	0,0087
1	3,27	0,005039	0,004289	0,0227	0,0193	0,0227	0,0193	0,0069	0,0059
Sótano	2,77	0,000000	0,000000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla anterior se observa que las deformaciones en los pisos 2 y 3 son mayores al máximo permitido por la Norma E.030 del RNE en su capítulo 3 artículo 15 Desplazamientos Laterales Permisibles, en el cual menciona que el máximo desplazamientos para concreto armado

debe ser 0,007. En este caso el 2do., piso muestra desplazamientos en X de 0,0098 y en Y 0,0087, en el 3er. piso en X=0,0081 en Y=0,0078 mayores a lo permitido en el RNE.

- **Verificación de la estructura debido a las nuevas cargas.**

Se procedió a analizar la estructura de la galería Fullmarket debido a la ampliación de dos pisos adicionales.

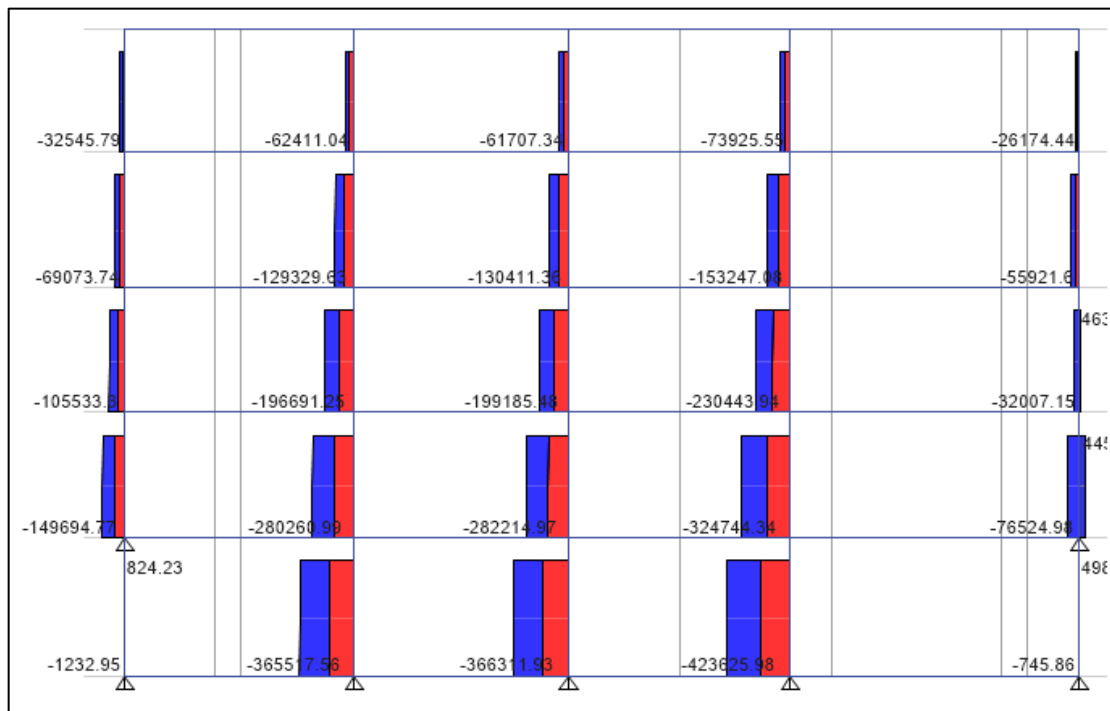
- **Verificación de las columnas.**

Se verificaron las columnas del tipo C1 (45x45), estas columnas tienen las siguientes solicitaciones de cargas y momentos para cada nivel:

- **Sótano.**

Luego de realizado el análisis estructural, se obtuvieron las demandas máximas que soportaran cada columna del sótano.

Figura 47. Cargas axiales sobre las columnas del eje C.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17. Carga axial de columnas C1 sótano de la galería.

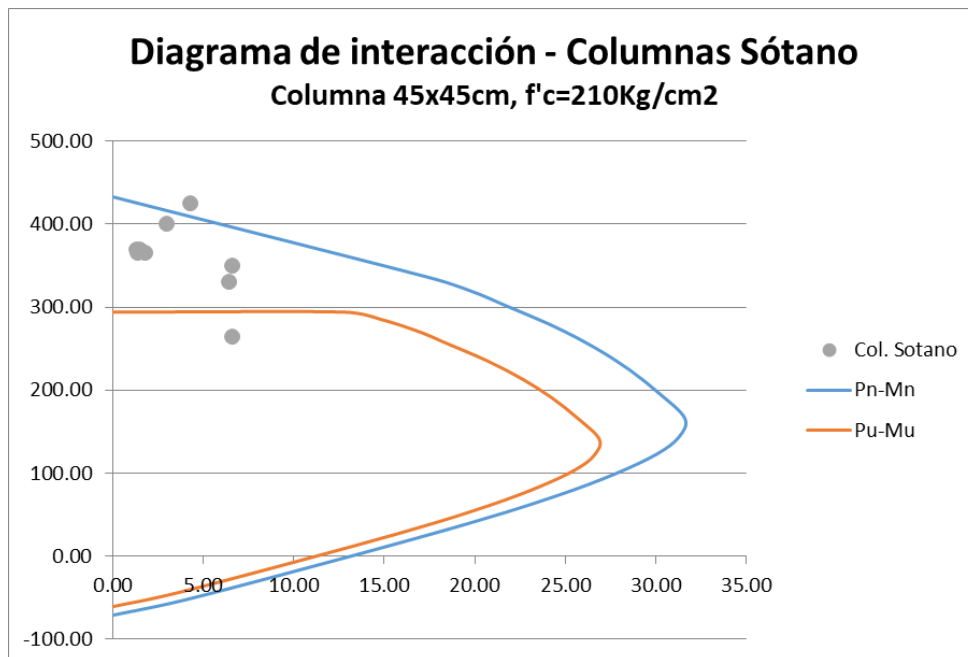
NIVEL	Columna	Fuerza Axial	Momento 2	Momento 3
	Eje	Kg	Kg -m	Kg - m
Sótano	B-2	400 000,00	3 000,00	1 500,00
	B-3	370 000,00	1 200,00	1 500,00
	B-4	365 000,00	1 200,00	1 800,00
	C-2	425 000,00	4 300,00	1 300,00
	C-3	370 000,00	900,00	1 300,00
	C-4	365 000,00	1 000,00	1 400,00
	D-2	350 000,00	3 800,00	6 600,00
	D-3	330 000,00	1 000,00	6 400,00
	D-4	265 000,00	2 900,00	6 600,00

Fuente: Elaboración propia.

El análisis de cargas realizado a las columnas centrales del tipo C1 en el sótano de la galería, muestra que solo la columna ubicada en el eje D-4 cumpliría con las nuevas solicitaciones de resistencia, de otro lado la columna más crítica es la ubicada en el eje C-2, cuya nueva resistencia requerida es de 425 Tn.

En el diagrama de interacción abajo mostrado podemos apreciar como la sollicitación de resistencia de las columnas C1 en el sótano, se encuentra por encima de la curva de diseño y requieren reforzamiento.

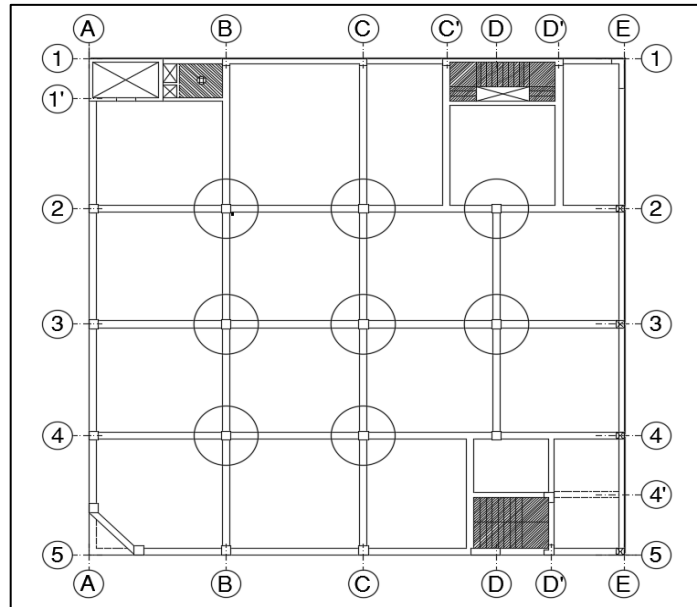
Figura 48. Diagrama de interacción Columnas sótano.



Fuente: Elaboración propia.

En la figura mostrada, la primera curva corresponde a la curva de diseño ϕP_n y la segunda a la curva nominal P_n . Los puntos que están por encima de la curva de diseño indican que la columna debe ser reforzada para la ampliación de los dos niveles.

Figura 49. Columnas del sótano que requieren reforzamiento



Elaboración propia.

La figura muestra ejes de las columnas que deberán ser reforzadas para cumplir con las nuevas solicitaciones.

Primer piso.

Se realizó el análisis de cargas para el 1er. piso de la galería obteniéndose las demandas máximas de cada columna.

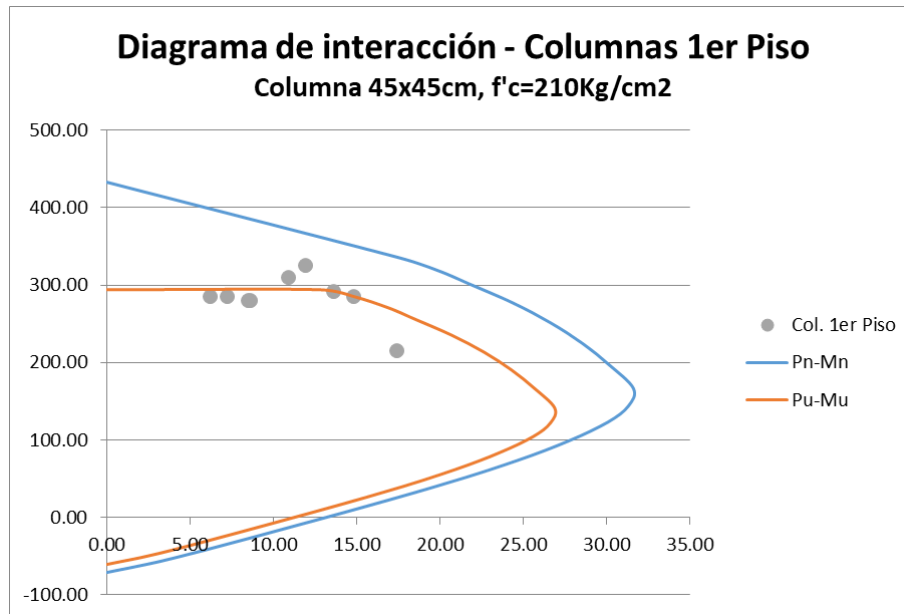
Tabla 18. Carga axial columnas C1 1er. piso de la galería.

NIVEL	Columna	Fuerza Axial	Momento 2	Momento 3
	Eje	Kg	Kg -m	Kg - m
1er Nivel	B-2	310 000,00	10 900,00	5 800,00
	B-3	285 000,00	7 200,00	6 800,00
	B-4	280 000,00	6 800,00	8 600,00
	C-2	325 000,00	11 900,00	5 300,00
	C-3	285 000,00	5 500,00	6 200,00
	C-4	280 000,00	5 400,00	8 500,00
	D-2	285 000,00	7 100,00	13 600,00
	D-3	275 000,00	3 800,00	14 800,00
D-4	215 000,00	8 500,00	17 400,00	

Elaboración propia.

El análisis de cargas realizado a las columnas centrales del tipo C1 en el 1er. piso de la galería, mostraron nuevas solicitaciones de resistencia. La columna con más requerimiento de resistencia es la situada en el eje C-2, cuya carga a soportar es de 325 Tn.

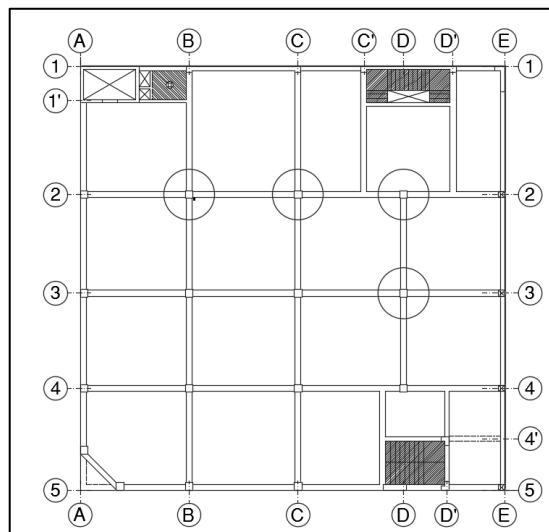
Figura 50. Diagrama de Interacción Columnas Primer piso.



Fuente: Elaboración propia.

La figura muestra columnas en el 1er. piso que deberán ser reforzadas para el proyecto de ampliación. Los puntos que están por encima de la curva de diseño indican que la columna deberá ser reforzada.

Figura 51. Columnas del 1er. piso que requieren reforzamiento.



Fuente: Elaboración propia.

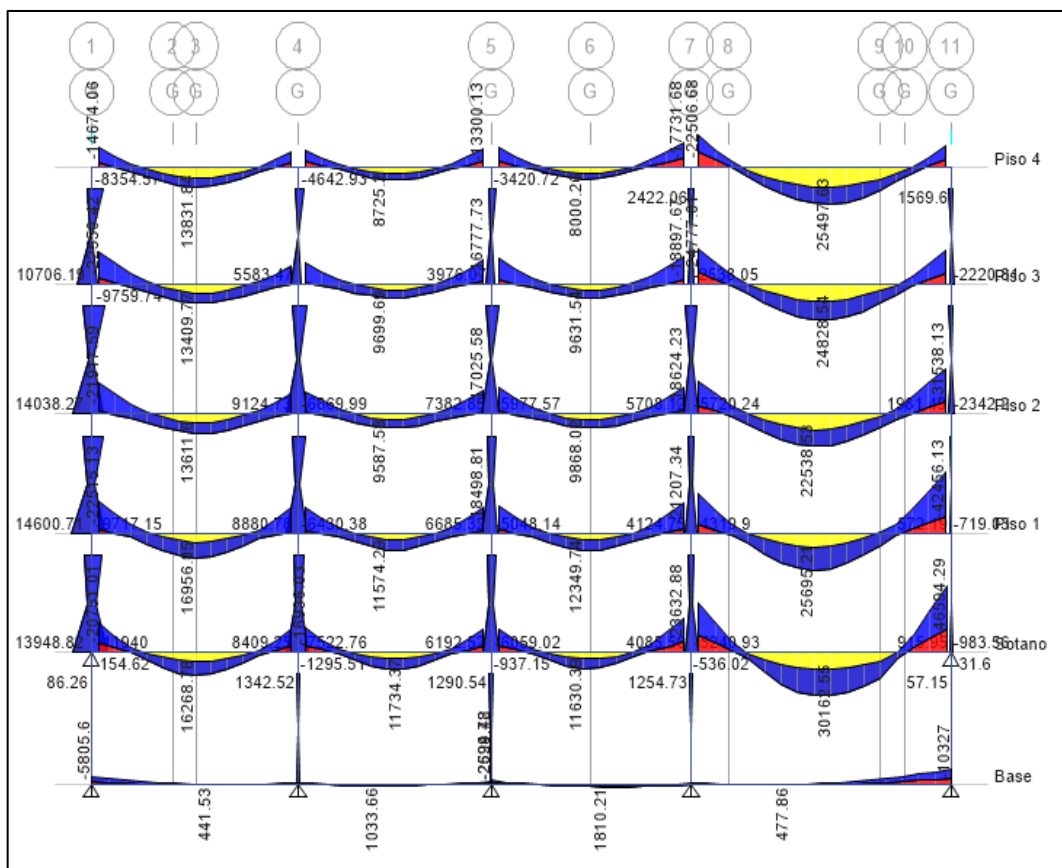
La figura muestra el plano con columnas del 1er. piso de la galería que según al análisis deberán ser reforzadas para el éxito del proyecto. La columna en el eje B-2 deberá ser reforzada, la columna en el eje C-2 deberá ser reforzada y las columnas D-2 y D-3, deberán ser reforzadas.

• **Verificación de las vigas**

Sótano.

Se procedió con el análisis de las vigas cuyas dimensiones son 35x70 cm. Para determinar las fuerzas cortas y momentos positivos y negativos obteniendo las siguientes sollicitaciones de cargas y momentos máximos.

Figura 52. Momentos flectores sobre las vigas del eje C



Fuente: Elaboración propia.

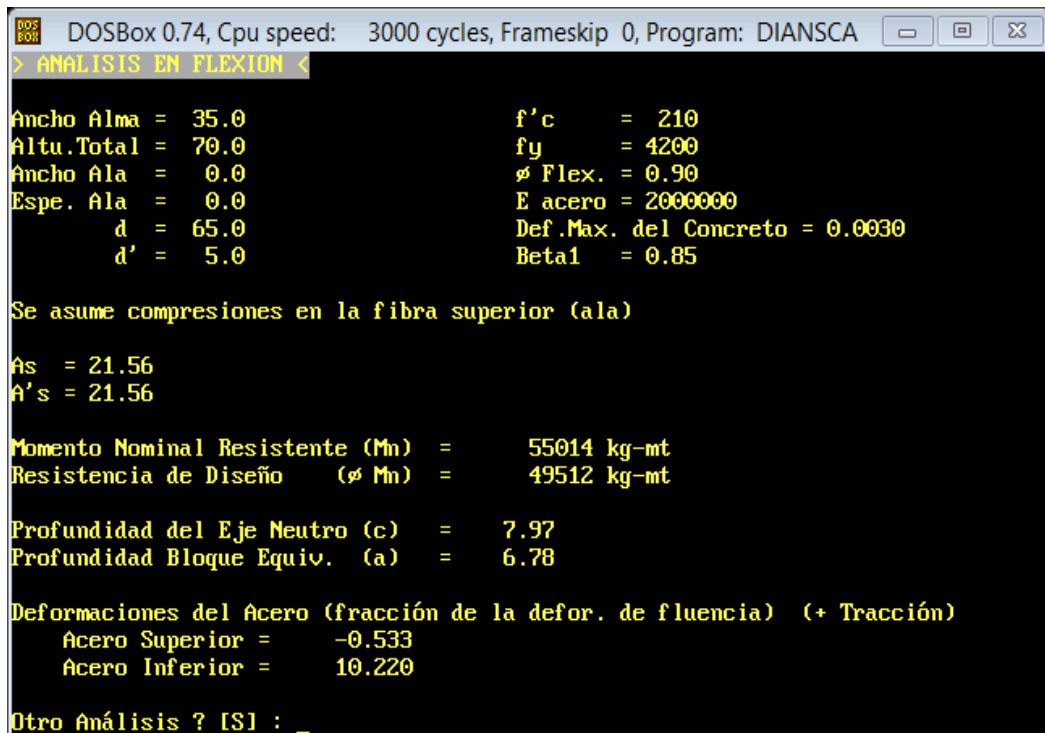
Tabla 19. Solicitaciones máximas para las vigas del sótano.

NIVEL	Eje	Fuerza Cortante	Momento Positivo	Momento negativo
		Kg	Kg - m	Kg - m
Sótano	1'	16 400,00	20 000,00	11 300,00
	2	23 000,00	18 800,00	8 600,00
	3	23 500,00	19 000,00	8 000,00
	4	24 400,00	24 400,00	18 000,00
	5	11 000,00	8 600,00	12 000,00
	B	26 000,00	23 500,00	28 000,00
	C	30 000,00	30 200,00	46 600,00
	D	25 000,00	23 500,00	33 900,00
	D'	24 000,00	17 500,00	27 200,00

Fuente: Elaboración propia.

En la figura se muestra el cuadro de las fuerzas cortantes y momentos para las vigas del sótano de la galería. Se puede observar que la viga que mayor demanda de fuerza cortante requiere está ubicada en el eje C con 30 Toneladas.

Figura 53. Verificación de resistencia y máximo momento de la viga en el eje C



```

DOSBox 0.74, Cpu speed: 3000 cycles, Frameskip 0, Program: DIANSCA
> ANALISIS EN FLEXION <
Ancho Alma = 35.0          f'c = 210
Altu.Total = 70.0         fy = 4200
Ancho Ala = 0.0           ø Flex. = 0.90
Espe. Ala = 0.0          E acero = 2000000
    d = 65.0             Def.Max. del Concreto = 0.0030
    d' = 5.0             Beta1 = 0.85

Se asume compresiones en la fibra superior (ala)

As = 21.56
A's = 21.56

Momento Nominal Resistente (Mn) = 55014 kg-mt
Resistencia de Diseño (ø Mn) = 49512 kg-mt

Profundidad del Eje Neutro (c) = 7.97
Profundidad Bloque Equiv. (a) = 6.78

Deformaciones del Acero (fracción de la defor. de fluencia) (+ Tracción)
Acero Superior = -0.533
Acero Inferior = 10.220

Otro Análisis ? [S] : _
  
```

Elaboración propia.

La figura muestra la resistencia nominal y de diseño de la viga ubicada en el eje C con una sección de 35x70 cm., cuya resistencia de diseño máxima es de 49 512 kg-m, que resulta mayor al requerimiento que es 30 000 kg-m y un momento nominal de 55 014 kg-m, lo que indica que la viga soporta perfectamente las cargas aplicadas.

- **Primer piso.**

Se procedió con el análisis de las vigas cuyas dimensiones son 35x70 cm. Para determinar las fuerzas cortas y momentos positivos y negativos obteniendo las siguientes solicitaciones de cargas y momentos máximos.

Tabla 20. Solicitaciones máximas para las vigas del primer nivel.

NIVEL	Eje	Fuerza Cortante	Momento 2 positivo	Momento 3 negativo
		Kg	Kg -m	Kg - m
Primer Nivel	2	23 000,00	19 600,00	24 000,00
	3	23 000,00	19 500,00	27 000,00
	4	21 000,00	18 000,00	25 000,00
	5	14 000,00	29 000,00	29 000,00
	A	13 000,00	9 000,00	22 000,00
	B	26 000,00	23 000,00	31 000,00
	C	26 000,00	26 000,00	42 500,00
	C'	30 000,00	30 000,00	43 000,00
	D	30 000,00	30 000,00	43 000,00

Fuente: Elaboración propia.

En la figura se muestra el cuadro de las fuerzas cortantes y momentos para las vigas del primer piso de la galería. Se puede observar que la viga que mayor demanda de fuerza cortante requiere está ubicada en el eje C' y D con 30 Tn. La dimensión de las vigas es 35x70 cm, y su resistencia nominal máxima es de 49 512 kg-m, lo que implica que la viga soporta perfectamente las cargas aplicadas.

- **Verificación de las vigas de cimentación**

Se verificaron las vigas de cimentación, obteniendo las siguientes solicitaciones de cargas y momentos para cada nivel:

Tabla 21. Fuerza cortante, momentos positivos y negativos máximos.

Viga	Fuerza Cortante Kg,	Momento 2 positivo Kg - m	Momento 3 negativo Kg-m
VC-1	4 400,00	1 000,00	13 400,00

Elaboración propia

En la tabla se muestra el cuadro de las fuerzas cortantes y momentos para las vigas de cimentación. Se puede observar que la demanda de fuerza cortante es de 4 400 kg.

Figura 54. Verificación del máximo momento soportado por la viga de cimentación.

```

> ANÁLISIS EN FLEXIÓN <
Ancho Alma = 30.0          f'c = 210
Altu. Total = 70.0        fy = 4200
Ancho Ala = 0.0           ϕ Flex. = 0.90
Espe. Ala = 0.0          E acero = 2000000
      d = 64.0           Def. Max. del Concreto = 0.0030
      d' = 6.0           Beta1 = 0.85

Se asume compresiones en la fibra superior (ala)

As = 5.68
A's = 5.68

Momento Nominal Resistente (Mn) = 14763 kg-mt
Resistencia de Diseño (ϕ Mn) = 13287 kg-mt

Profundidad del Eje Neutro (c) = 5.67
Profundidad Bloque Equiv. (a) = 4.82

Deformaciones del Acero (fracción de la defor. de fluencia) (+ Tracción)
Acero Superior = 0.082
Acero Inferior = 14.688

Otro Análisis ? [S] : _
  
```

Elaboración propia

La figura muestra el máximo momento nominal resistente para la viga VC-1 14 763 kg-m el cual es mayor a lo demandado que es 13 400 kg-m., lo que indica que la viga soporta perfectamente los momentos y fuerzas cortantes aplicadas.

- **Conclusión del análisis estructural por nuevas cargas**

Visto el análisis estructural realizado donde se verifico que los desplazamientos están por encima de los permitidos por el RNE por lo que la estructura requiere mayor rigidez. Con referencias a las cargas axiales la estructura requiere ampliar las secciones de las columnas o reforzarlas para que pueda resistir las nuevas solicitudes de cargas.

- **Soluciones para los hallazgos del análisis estructural del proyecto de ampliación**

Para los desplazamientos de la edificación que no cumplen con la norma E030 del RNE en los pisos 2 y 3, se propuso rigidizar la estructura colocando perfiles de acero del tipo ASTM A-572

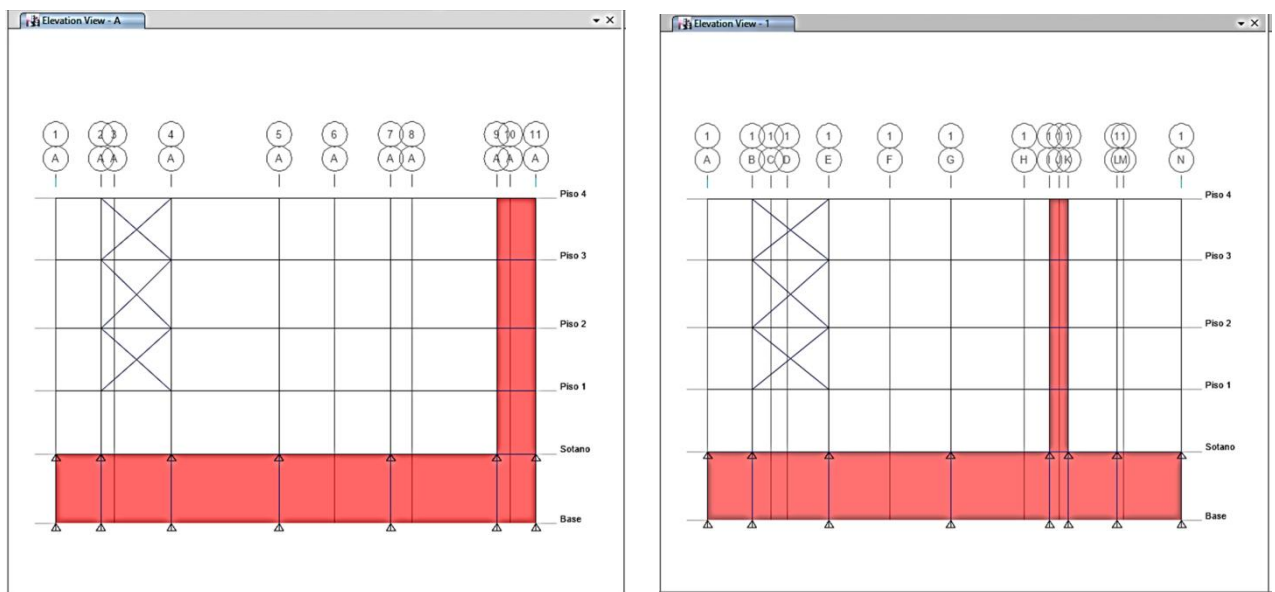
GR 50 –WF entre los pisos 2, 3 y 4, en los ejes 4-5 y A-B, tal como se puede ver en la figura siguiente:

Figura 55. Acero del tipo ASTM A-572 GR 50 - WF



Fuente: Yagual Quimi 2014

Figura 56. Estructura de rigidización con perfiles de acero en los ejes A-B y 1-2.



Fuente: Elaboración propia

La figura muestra la ubicación de los perfiles de acero en los pisos 2 3 y 4 para rigidizarlos y resolver los excesivos desplazamientos.

- **Cálculo de las vigas de acero ASTM A-572 GR 50 –WF 10x45**

Para el cálculo de la rigidización de los pisos 2, 3 y 4 se utilizó perfiles de acero tipo ASTM A-572 GR 50 –WF 10x45, las fuerzas que soportaran estas vigas son:

Tabla 22. Resistencias requeridas para rigidizar la estructura.

Nivel	Eje	Tracción Kg	Compresión Kg
Segundo	A	120 000,00	95 000,00
	5	130 000,00	105 000,00
Tercer	A	60 000,00	45 000,00
	5	75 000,00	60 000,00
Cuarto	A	15 000,00	3 000,00
	5	32 000,00	20 000,00

Fuente: Elaboración propia.

Datos de acero ASTM A572 GR50-WF

$$E = 2\,100\,000 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_y = 3\,520 \text{ kg/cm}^2$$

$$A_g = 85.80 \text{ cm}^2$$

$$R_x = 11.00 \text{ cm}$$

$$R_y = 5.10 \text{ cm}$$

$$L = 250 \text{ cm}$$

- **Verificación por tracción.**

Se sabe que, la resistencia a la tensión nominal es:

$$P_n = \phi f_y A_g = 0.9 \times 3520 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times 85.80 \text{ cm}^2 = \mathbf{271.8 \text{ Tn} > 130 \text{ Tn}}$$

Realizados los cálculos se verifica que la resistencia a la tracción de la viga de acero es de 271.8 Tn., mayor a la requerida por la estructura que es 130 Tn.

- **Verificación por compresión.**

Ecuación 26. Compresión en X de acero AST-572 GR50

$$V_{cx} = \frac{K L}{r_x}$$

Ecuación 27. Compresión en Y de acero AST-572 GR50

$$V_{cy} = \frac{K L}{r_y}$$

$$\frac{K L}{r_x} = \frac{0.5 \times 250 \text{ cm}}{11 \text{ cm}} = 11.36 < 113$$

$$\frac{K L}{r_y} = \frac{0.5 \times 250 \text{ cm}}{5.1 \text{ cm}} = 24.5 < 113$$

$$F_{cr} = \left[0.658 \frac{F_y}{F_e} \right] F_y$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{K L}{r} \right)^2} = 34529$$

$$F_{cr} = \left[(0.658)^{\frac{3520}{34529}} \right] 3520 = 3373$$

$$\phi P_n = \phi F_{cr} A_g = 0.9 \times 3373 \times 85.80 = \mathbf{260.46 \text{ Tn} > 105 \text{ Tn}}$$

Realizados los cálculos se verificó que la resistencia a compresión de la viga de acero es de 260.46 Tn., mayor a la requerida por la estructura que es 105 Tn. Con lo que se puede concluir que las vigas metálicas soportan las cargas de tensión y compresión requeridas.

Los datos obtenidos se ingresaron al programa ETABs, para calcular los nuevos desplazamientos, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 23. Desplazamientos de la estructura luego de aplicados los perfiles de Acero.

NIVEL	h (m)	Desplazamiento por piso		Desplazamiento 0,75 R		Distorsión por piso		$\Delta x / h$	$\Delta y / h$
		Ux (m)	Uy (m)	Ux (m)	Uy (m)	Δx (m)	Δy (m)		
4	3,20	0,015567	0,014163	0,0701	0,0637	0,0113	0,0125	0,0035	0,0039
3	3,56	0,013065	0,011383	0,0588	0,0512	0,0219	0,0189	0,0062	0,0053
2	3,27	0,008197	0,007185	0,0369	0,0323	0,0199	0,018	0,0061	0,0055
1	3,27	0,003764	0,003184	0,0169	0,0143	0,0169	0,0143	0,0052	0,0044
Sótano	2,77	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

La tabla muestra que después de aplicados los perfiles de acero y evaluada la estructura, se puede apreciar que los desplazamientos en todos los pisos se encuentran dentro de los límites permitidos por el RNE. Los mayores desplazamientos sin salirse de lo requerido por el RNE están en los pisos 2 con 0.0062 y el piso 3 con 0.0061 menores a 0.007.

- **Aumento de Resistencia de Columna no Circular con CFRP, norma ACI 440 2R 17.**

El cálculo del reforzamiento de la columna con fibra de carbono se realizó manteniendo la misma sección de columna 45x45 cm., y la misma resistencia $f'_c=210$ kg/cm².

Tabla 24. Solicitaciones de resistencias para columnas Proyecto de Ampliación.

RESISTENCIAS REQUERIDAS PARA EL PROYECTO DE AMPLIACION				
Nivel	Columnas Eje	Fuerza Axial Kg	Momento 2 Kg - m	Momento 3 Kg - m
Sotano	B-2	400 000,00	3 000,00	1 500,00
	B-3	370 000,00	1 200,00	1 500,00
	B-4	365 000,00	1 200,00	1 800,00
	C-2	425 000,00	4 300,00	1 300,00
	C-3	370 000,00	900,00	1 300,00
	C-4	365 000,00	1 000,00	1 400,00
	D-2	350 000,00	3 800,00	6 600,00
	D-3	330 000,00	1 000,00	6 400,00
Primero	B-2	310 000,00	10 900,00	5 800,00
	C-2	325 000,00	11 900,00	5 300,00
	D-2	285 000,00	7 100,00	13 600,00
	D-3	275 000,00	3 800,00	14 800,00

Elaboración: Fuente propia

La tabla muestra las columnas con las nuevas solicitaciones de resistencia para el proyecto de ampliación. Para cada una de las columnas se elaboró un diagrama de interacción con curva bilineal mostrando la columna reforzada y la columna sin reforzamiento. Como se observa en la tabla, la columna con mayor solicitación de resistencia es la ubicada en el eje C-2 del sótano; se utilizó como referencia para el diagrama de interacción bilineal y los cálculos de acuerdo con la norma ACI 440 2R 17. Para las demás columnas se mostró solo el diagrama de interacción con la curva bilineal sin reforzamiento y con reforzamiento.

De acuerdo con el análisis estructural realizado la nueva carga para la columna con mayor solicitación de resistencia se ubica en el eje C-2 del sótano de la galería, sujeta a una carga de compresión axial máxima $P_u = 293\,468,08$ kg y un último momento de flexión $M_u = 4\,575,13$ kg-m. Con el proyecto de ampliación de dos niveles adicionales esta columna debe tener una resistencia a compresión de $P_u = 425\,000$ kg, $M_u = 4\,300$ kg-m., es decir la demanda porcentual de mayor resistencia en la columna es de 45% con respecto a su resistencia actual.

- **Cálculo del reforzamiento con el programa Excel**

Para el tipo de columna C1 en el eje C-2 sin reforzamiento se desarrolló un diagrama de interacción simplificado de tres puntos A, B y C los que se obtuvieron mediante procedimientos conocidos de elaboración de la curva de interacción. Para la misma columna, pero esta vez reforzada con fibra de carbono CFRP, se elaboró la curva para los mismos puntos A, B y C. Los puntos A, B y C de la curva de interacción se calcularon usando las ecuaciones siguientes:

$$\phi P_{n(A)} = \phi 0.80 (0.85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st})$$

$$\phi P_{n(B,C)} = \phi (A(y_t)^3 + B(y_t)^2 + C(y_t) + D) + \Sigma A_{si} f_{si}$$

$$\phi M_{n(B,C)} = \phi (E(y_t)^4 + F(y_t)^3 + G(y_t)^2 + H(y_t) + I) + \Sigma A_{si} f_{si} d_i$$

Los coeficientes A, B, C, D, E, F, G, H e I de las expresiones anteriores se calculan con las siguientes ecuaciones:

Ecuación 28. Cálculo coeficiente A para CFRP.

$$A = \frac{-b(E_c - E_2)^2}{12f'_c} \left(\frac{\epsilon_{ccu}}{c} \right)^2$$

Ecuación 29. Cálculo coeficiente B para CFRP.

$$B = \frac{b(E_c - E_2)}{2} \left(\frac{\epsilon_{ccu}}{c} \right)$$

Ecuación 30. Cálculo coeficiente C para CFRP.

$$C = bf'_c$$

Ecuación 31. Cálculo coeficiente D para CFRP.

$$D = bf'_c + \frac{bcE_2}{2} (\epsilon_{ccu})$$

Ecuación 32. Cálculo coeficiente E para CFRP.

$$E = \frac{-b(E_c - E_2)^2}{16f'_c} \left(\frac{\epsilon_{ccu}}{c} \right)^2$$

Ecuación 33. Cálculo coeficiente F para CFRP.

$$F = b \left(c - \frac{h}{2} \right) \frac{(E_c - E_2)^2}{12f'_c} \left(\frac{\epsilon_{ccu}}{c} \right)^2 + \frac{b(E_c - E_2)}{3} \left(\frac{\epsilon_{ccu}}{c} \right)$$

Ecuación 34. Calculo coeficiente G para CFRP.

$$G = -\left(\frac{b}{2} f'_c + b \left(c - \frac{h}{2}\right) \frac{(E_c - E_2)}{2} \left(\frac{\epsilon_{ccu}}{c}\right)\right)$$

Ecuación 35. Calculo coeficiente H para CFRP.

$$H = b f'_c \left(c - \frac{h}{2}\right)$$

Ecuación 36. Calculo coeficiente I para CFRP.

$$I = \frac{bc^2}{2} f'_c - bc f'_c \left(c - \frac{h}{2}\right) + \frac{bc^2 E_2}{3} (\epsilon_{ccu}) - \frac{bcE_2}{2} \left(c - \frac{h}{2}\right) (\epsilon_{ccu})$$

Tabla 25. Geometría de la columna.

Sección de Columna		
b =	45,00	cm
h =	45,00	cm
rc =	2,50	cm
Recubrimiento =	5,00	cm

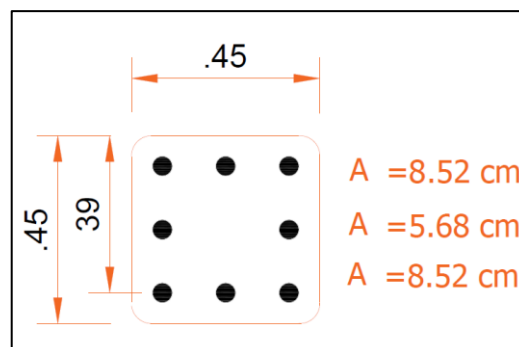
Fuente: Elaboración propia

Tabla 26. Datos de los materiales de la columna.

Resistencia de Materiales			
Resistencia del concreto	$f'_c =$	210,00	Kg/cm ²
Resistencia de acero	$f_y =$	4 200,00	Kg/cm ²
Módulo de elasticidad concreto	$E_c =$	217 370,65	Kg/cm ²
Módulo de elasticidad acero	$E_y =$	1 961 330,00	Kg/cm ²
Deformación última del acero	$E_{sy} =$	0,0021	cm/cm

Fuente: Elaboración propia

Figura 57. Columna tipo C1 de la galería



Fuente: Elaboración propia

Tabla 27. Acero de refuerzo de la columna.

Área del Acero por Capas		
$A_{S1} =$	8,52	cm ²
$A_{S2} =$	5,68	cm ²
$A_{S3} =$	8,52	cm ²

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28. Propiedades de la fibra de carbono CFRP.

Características de la Fibra de Carbono			
Espesor de la capa	t_f	0,3330	mm
Resistencia a la tracción	f'_{fu}	3 792,00	Mpa.
Tension de ruptura	ϵ_{fu}^*	0,0167	mm/mm
Modulo de Elasticidad	E_f	227 527,00	MPa

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29. Factores para el cálculo del Reforzamiento

FACTORES PARA EL CALCULO DEL REFORZAMIENTO		
$A_g =$	2 025,000000	cm ²
$d =$	40,000000	cm
$A_{st} =$	22,720000	cm ²
$P_g =$	0,011200	
$\epsilon_{ccu} =$	0,004200	cm/cm
$E_{cc} =$	0,003000	cm/cm
$E_{sy} =$	0,002100	cm/cm
$E_{fe} =$	0,009185	cm/ cm
$D =$	63,640000	cm
$A_e/A_c =$	0,467300	
$K_a =$	0,467300	

Fuente: Elaboración propia

- Cálculo de valores para la curva simplificada Columna No Reforzada puntos A, B, C.

$$\phi P_{n(A)} = \phi 0.8 (0.85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st})$$

Tabla 30. Carga Axial Columna no Reforzada - PUNTO A.

Carga Axial Punto A	
$\phi P_n(A) =$	235,47 Tn

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 31. Distancia del eje neutro Columna no Reforzada - Punto B

Coeficientes		
C =	40,00	cm
$y_t = C \frac{\epsilon'_t}{\epsilon_{ccu}} =$	40,00	cm

Fuente: Elaboración propia

Punto B y C: $\phi P_{n(B,C)} = \phi(A(y_t)^3 + B(y_t)^2 + C(y_t) + D) + \Sigma A_{si} f_{si}$

Tabla 32. Coeficientes Columna no Reforzada - PUNTO B.

A	-4,75	Kg/cm ³
B	366,81	Kg/cm ²
C	-9 450,00	Kg/cm
D	378 000,00	Kg
E	-3,56	Kg/cm ³
F	327,6	Kg/cm ²
G	-11 144,23	Kg/cm
H	165 375,00	Kg
I	945 000,00	Kg-cm

Fuente: Elaboración propia

Tabla 33. Cálculo fuerza y deformación Columna no Reforzada - PUNTO B.

It	y_t	Es (cm)	fs (cm)	fε	As	d
1	35,00	0,002625	5 148,49	4 200,00	8,52	17,50
2	17,50	0,001313	2 575,23	2 575,23	5,68	0,00
3	0,00	0,000000	0,00	0,00	8,52	17,50
4	0,00	0,000000	0,00	0,00	0,00	25,42

Fuente: Elaboración propia

Tabla 34. Carga Axial y Momento - PUNTO B

$\emptyset Pn(B)=$	216,82	Tn
$\emptyset Mn(B) =$	14,35	Tn-m

Fuente: Elaboración propia

Tabla 35. Distancia del eje neutro - PUNTO C

Coeficientes		
C =	23,529	cm
$y_t = C \frac{\varepsilon'_t}{\varepsilon_{ccu}}$	23,529	cm

Fuente: Elaboración propia

Tabla 36. Coeficientes calculados - PUNTO C.

A	-13,72	Kg/cm ³
B	623,59	Kg/cm ²
C	-9 450,00	Kg/cm
D	222 349,05	Kg
E	-9,18	Kg/cm ³
F	429,84	Kg/cm ²
G	-5 366,68	Kg/cm
H	9 724,05	Kg
I	2 387 028,23	Kg-cm

Fuente: Elaboración propia

Tabla 37. Cálculo de fuerzas y deformaciones Columna no Reforzada – PUNTO C

It	y_t (cm)	E_s (cm)	f_s (cm)	f_ε	A_s	d
1	35,00	0,003413	6 694,02	4 200,00	8,52	17,50
2	17,50	0,000656	1 286,63	1 286,63	5,68	0,00
3	0,00	-0,002100	-4 118,79	-4 118,79	8,52	17,50
4	0,00	-0,002100	-4 118,79	-4 118,79	0,00	25,42

Fuente: Elaboración propia

Tabla 38. Carga Axial y momento - PUNTO C

$\phi Pn(C) =$	113,46	Tn
$\phi Mn(C) =$	15,89	Tn-m

Fuente: Elaboración propia

- **Obtención de valores para la curva simplificada para Columna Reforzada.**

Tabla 39. Resistencias Columna Reforzadas - PUNTO A

Coeficientes - PUNTO A		
$f_t =$	140,8902	Kg/cm ²
$f'_{cc} =$	427,2700	Kg/cm ²
$E2 =$	51 730,9500	Kg/cm ²

Fuente: Elaboración propia

Tabla 40. Carga Axial Columna Reforzada - PUNTO A

Carga Axial	
$\phi Pn(A) =$	427,76 Tn.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 41. Resistencias Columna Reforzada – PUNTO B

Factores columna reforzada		
$f_t =$	64,5859	Kg/cm ²
$f'_{cc} =$	309,6000	Kg/cm ²
$E2 =$	23 714,2900	Kg/cm ²

Fuente: Elaboración propia

Tabla 42. Distancia del eje neutro Columna Reforzada – PUNTO B

C =	40,00	cm
$y_t = C \frac{\epsilon'_t}{\epsilon_{ccu}}$	28,57	cm

Fuente: Elaboración propia

Tabla 43. Coeficientes calculados Columna Reforzada – PUNTO B

A	-7,38	Kg/cm ³
B	457,51	Kg/cm ²
C	-9,450,00	Kg/cm
D	467 640,02	Kg
E	-5,54	Kg/cm ³
F	434,22	Kg/cm ²
G	-12 731,48	Kg/cm
H	167 375,00	Kg
I	1 766 700,15	Kg-cm

Fuente: Elaboración propia

Tabla 44. Cálculo de fuerzas y deformaciones Columna Reforzada - PUNTO B

It	y_t (cm)	Es (cm)	fs (cm)	fϵ	As	d
1	35,00	0,003675	7 207,89	4 200,00	8,52	17,50
2	17,50	0,001838	3 604,92	3 604,92	5,68	0,00
3	0,00	0,000000	0,00	0,00	8,52	17,50
4	0,00	0,000000	0,00	0,00	0,00	25,42

Fuente: Elaboración propia

Tabla 45. Carga Axial y Momentos columna Reforzada - PUNTO B

$\emptyset Pn(B) =$	295,87	Tn
$\emptyset Mn(B) =$	20,55	Tn-m

Fuente: Elaboración propia

Tabla 46. Distancia del eje neutro columnas Reforzadas - PUNTO C

C =	26,667	cm
$y_t = C \frac{\epsilon'_t}{\epsilon_{ccu}}$	19,05	cm

Fuente: Elaboración propia

Tabla 47. Coeficientes calculados columna Reforzada – PUNTO C

A	-16,61	Kg/cm ³
B	686,26	Kg/cm ²
C	-9 450,00	Kg/cm
D	311 763,91	Kg
E	-12,46	Kg/cm ³
F	526,73	Kg/cm ²
G	-7 584,65	Kg/cm
H	39 378,15	Kg
I	3 123 390,55	Kg-cm

Fuente: Elaboración propia

Tabla 48. Cálculo de fuerzas y deformaciones Columna Reforzada - PUNTO C

lt	y_t (cm)	Es (cm)	fs (cm)	fε	As	d
1	35,00	0,003413	6 694,02	4 200,00	8,52	17,50
2	17,50	0,000656	1 286,63	1 286,63	5,68	0,00
3	0,00	-0,002100	-4 118,79	-4 118,79	8,52	17,50
4	0,00	-0,002100	-4 118,79	-4 118,79	0,00	25,42

Fuente: Elaboración propia

Tabla 49. Carga Axial y momentos – Punto C

$\phi P_n(C) =$	178,06	Tn
$\phi M_n(C) =$	20,37	Tn -m

Fuente: Elaboración propia

Con los valores obtenidos para los puntos A, B y C, se elaboró el diagrama de interacción con curva bilineal para la columna C1 eje C-2 $P_u = 293\ 468.08$ kg actual y reforzada $P_u = 425\ 760$ kg.

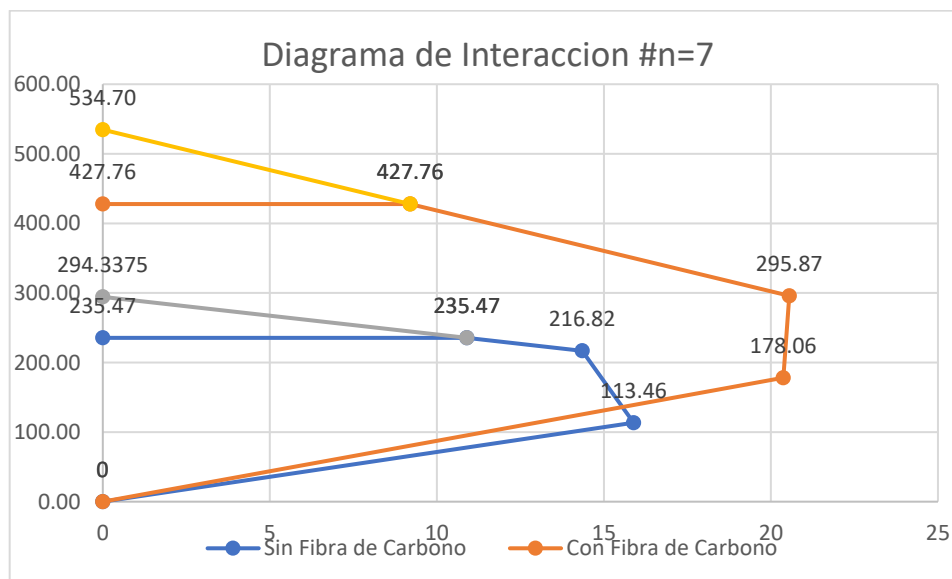
Tabla 50. Cálculo de resistencia hasta 427,76 Ton

Cargas Axiales para el Diagrama de Interacción			
	Punto	Pn (Tn)	Mn (Tn-m)
Columna No Reforzada	A	235,47	0,00
	B	216,82	14,35
	C	113,46	15,89
Columna Reforzada	A	427,76	0,00
	B	295,87	20,55
	C	178,06	20,37
Cantidad de Capas	(n) =	7	CFRP

Elaboración propia.

Realizado los cálculos con el programa Excel se determinó que para que la columna alcance una resistencia de $P_u = 427.76$ Tn. es necesario confinarla con 7 capas de fibra de carbono de 300 gr/m² unidireccional. Se elaboró el diagrama de interacción para graficar el comportamiento la columna sin reforzamiento y su aumento de resistencia con reforzamiento, mostrando el aumento de resistencia de la columna.

Figura 58. Diagrama de interacción con curva bilineal n=7.



Fuente: Elaboración propia

El diagrama de interacción muestra para la columna del tipo C1 de sección 45x45cm., resistencia $f'_c=210$ kg/cm² reforzada con 7 capas de fibra de carbono de 300 gr/m² unidireccional en manta, un aumento de carga axial de 427,76 Ton. Se puede concluir entonces que el reforzamiento de la columna con fibra de carbono CFRP elevó su capacidad de carga cumpliendo con la nueva sollicitación.

Se realizaron los cálculos de reforzamiento para las columnas restantes ubicadas en el sótano y primer piso de la galería tomando en cuenta su grado de sollicitación.

Tabla 51. Columnas con nuevas sollicitaciones reforzadas con CFRP

Niveles	Columnas Eje	Resistencias requeridas para el proyecto			Columnas con CFRP	
	Eje	Fuerza Axial Kg	Momento 2 Kg-m	Momento 3 Kg-m	#n	Resistencia f'_{cc} (Tn)
Sótano	B-2	400 000,00	3 000,00	1 500,00	6	400 290,00
	B-3	370 000,00	1 200,00	1 500,00	5	372 820,00
	B-4	365 000,00	1 200,00	1 800,00	5	372 820,00
	C-2	425 000,00	4 300,00	1 300,00	7	427 760,00
	C-3	370 000,00	900,00	1 300,00	5	372 820,00
	C-4	365 000,00	1 000,00	1 400,00	5	372 820,00
	D-2	350 000,00	3 800,00	6 600,00	5	372 820,00
	D-3	330 000,00	1 000,00	6 400,00	4	345 350,00
Primer	B-2	310 000,00	10 900,00	5 800,00	3	317 880,00
	C-2	325 000,00	11 900,00	5 300,00	4	345 350,00
	D-2	285 000,00	7 100,00	13 600,00	3	317 880,00
	D-3	275 000,00	3 800,00	14 800,00	3	317 880,00

Elaboración propia.

La tabla muestra las columnas con sus sollicitaciones de carga axial y su reforzamiento indicando el número (n) de capas de fibra de carbono que requieren para elevar su resistencia. Por ejemplo, en el eje B-4 del sótano, la columna necesita una fuerza axial de 365 Ton. Los cálculos determinaron que confinando la columna con 5 capas de CFRP su fuerza axial se eleva a 372.82 Ton., resistencia por encima de lo requerido.

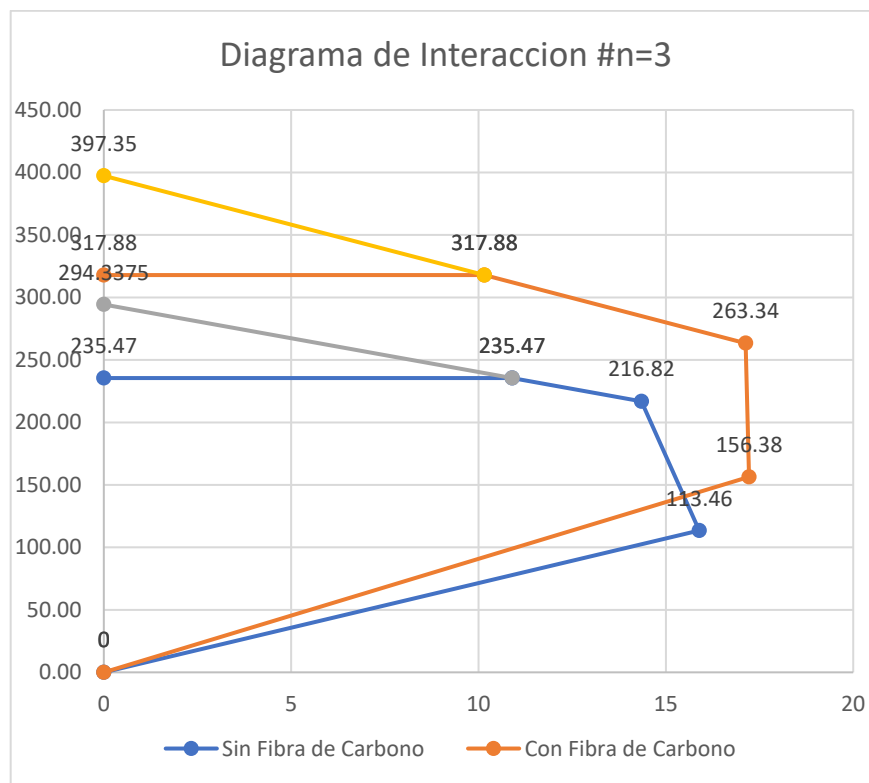
Se elaboró el diagrama de interacción para las columnas que requieren reforzamiento hasta una fuerza axial de 317,88 Ton., que son las columnas ubicadas en los ejes B-2, D-2 y D-3 del 1er. piso de la galería.

Tabla 52. Cálculo de cargas hasta 317.88 Ton.

REFORZAMIENTO DE COLUMNAS CON 3 CAPAS DE CFRP			
Columna Reforzada	Puntos	Pn (Tn)	Mn (Tn-m)
	A	317,88	0
	B	263,34	17,13
	C	156,38	17,22
Cantidad de Capas o vueltas de CFRP (n)		3	

Elaboración propia

Figura 59. Columna Reforzada #n=3 capas f'cc=317,88 Ton.



Fuente: Elaboración propia

El diagrama de interacción muestra la columna del tipo C1 de sección 45x45cm., resistencia $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ reforzada con 3 capas de CFRP de 300 gr/m^2 unidireccional en manta, con aumento resistencia a $f'c=317.88 \text{ Ton}$.

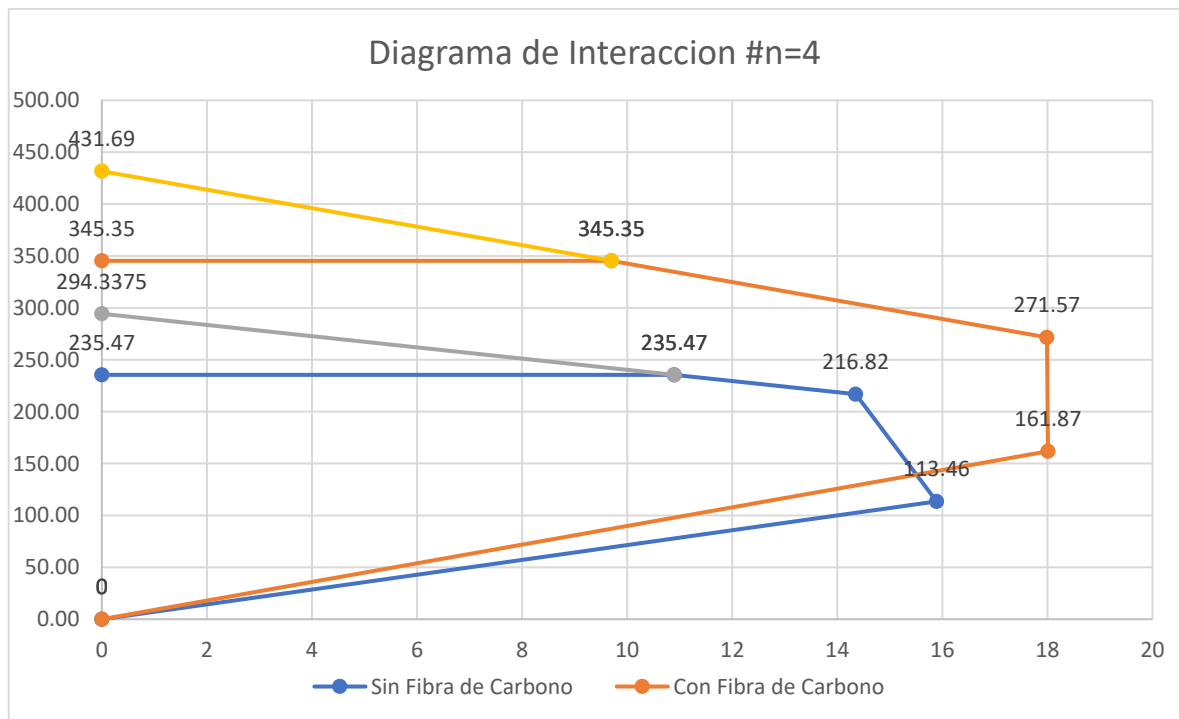
Se elaboró el diagrama de interacción para las columnas que requieren reforzamiento hasta una resistencia de $f'c=345.35 \text{ Ton}$. que corresponden a la columna ubicada en el eje D-3, ubicada en el sótano y la columna C-2 ubicada en el 1er., piso de la galería.

Tabla 53. Cálculo de cargas hasta 345,35 Ton.

REFORZAMIENTO DE COLUMNAS CON 4 CAPAS DE CFRP			
	Puntos	Pn (Tn)	Mn (Tn-m)
Columna reforzada	A	345,35	0,00
	B	271,57	17,99
	C	161,87	18,01
Cantidad de Capas de CFRP (n) =		4,00	

Elaboración propia

Figura 60. Columna Reforzada #n=4 capas f'cc= 345,35 Ton.



Fuente: Elaboración propia

El diagrama de interacción muestra que para la columna del tipo C1 de 45x45cm., de sección con resistencia $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ reforzada con 4 capas de fibra de carbono CFRP de 300 gr/m^2 unidireccional en manta, aumento la resistencia hasta un $f'c=345,35 \text{ Ton}$.

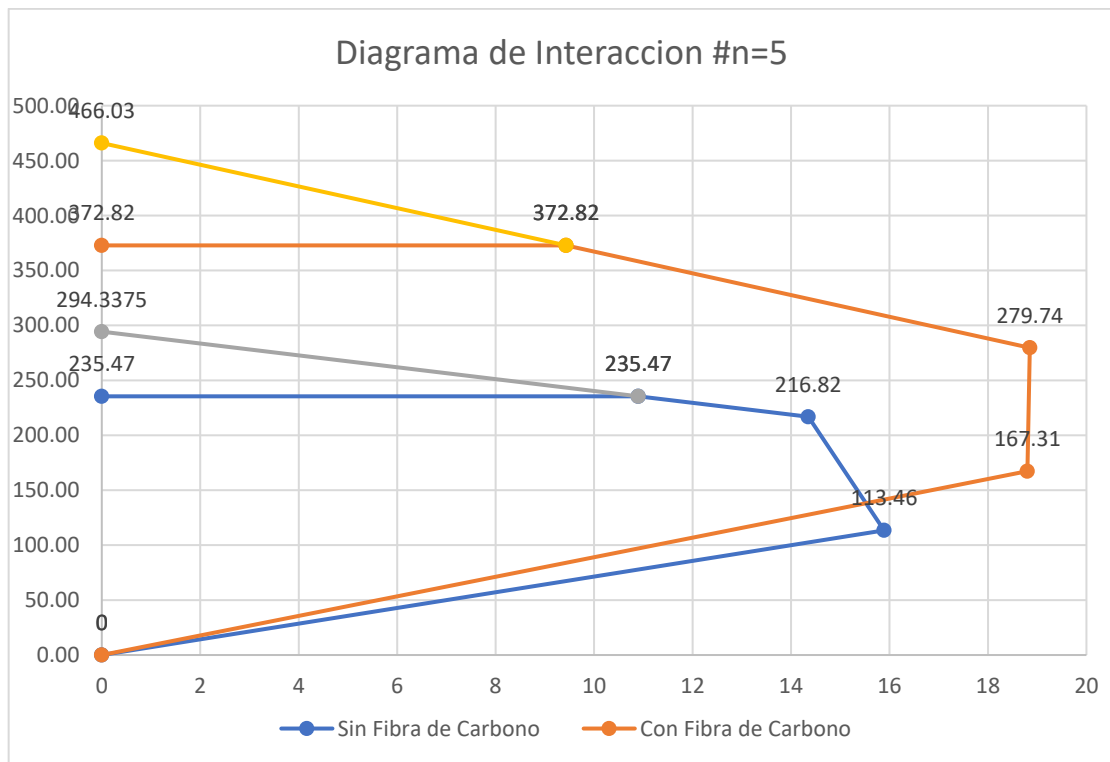
Se elaboró el diagrama de interacción para las columnas que requieren reforzamiento hasta una resistencia de $f'c=372,82 \text{ Ton}$. que corresponden a las columnas ubicadas en los ejes B-4, C-4, B-3, C-3 y D2 del sótano de la galería.

Tabla 54. Cálculo de cargas hasta 372,82 Ton.

REFORZAMIENTO DE COLUMNAS CON 5 CAPAS DE CFRP			
Columna reforzada	Puntos	Pn (Tn)	Mn (Tn-m)
	A	372,82	0,00
	B	279,74	18,85
	C	167,31	18,80
Cantidad de Capas o vueltas de CFRP (n) =		5,00	

Elaboración propia

Figura 61. Columna reforzada #n=5 capas f'_{cc} = 372,82 Ton.



Fuente: Elaboración propia

El diagrama de interacción muestra la curva de columna del tipo C1 de 45x45cm., de sección con resistencia $f'_{c}=210 \text{ kg/cm}^2$ sin reforzamiento y una segunda curva con la columna reforzada con 5 capas de fibra de carbono CFRP de 300 gr/m² unidireccional en manta con una resistencia hasta de $f'_{c}=372,82 \text{ Ton}$.

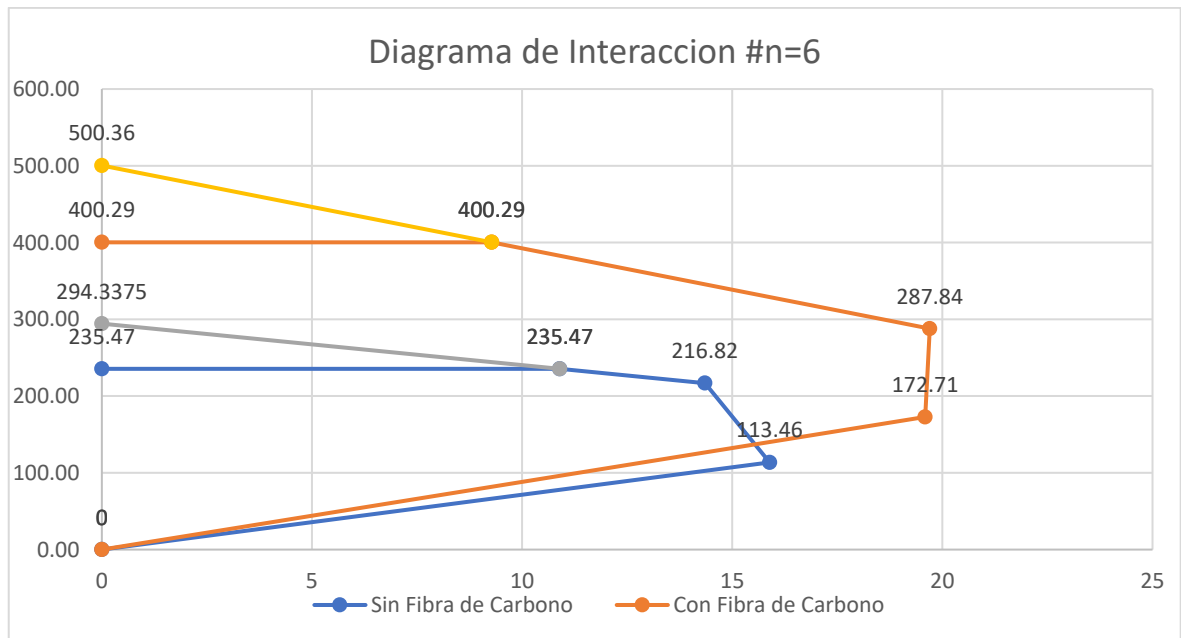
Se elaboró el diagrama de interacción para las columnas que requieren reforzamiento hasta una resistencia de $f'_{c}=400,29 \text{ Ton}$., que corresponde a la columna ubicada en el eje B-2, del sótano de la galería cuyo requerimiento de resistencia es de $f'_{c}=400 \text{ Ton}$.

Tabla 55. Cálculo de cargas hasta 400,29 Ton.

REFORZAMIENTO DE COLUMNAS CON 6 CAPAS DE CFRP			
Columna reforzada	Puntos	Pn (Tn)	Mn (Tn - m)
	A	400,29	0,00
	B	287,84	19,70
	C	172,71	19,59
Cantidad de Capas o vueltas con CFRP (n) =		6,00	

Elaboración propia

Figura 62. Columna reforzada #n=6 capas f'cc= 400,29 Ton.



Elaboración propia.

El diagrama de interacción muestra la curva de columna del tipo C1 de 45x45cm., de sección con resistencia $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ sin reforzamiento y una segunda curva con la columna reforzada con 6 capas de fibra de carbono CFRP de 300 gr/m^2 unidireccional en manta con una resistencia hasta de $f'c=400,29 \text{ Ton}$.

2.8. Procedimiento para el objetivo específico 5

Determinar el impacto económico del reforzamiento de 14 columnas con Fibra de Carbono (CFRP) en la galería comercial Fullmarket, 2019.

- **Actividades realizadas**

- Cálculo de la sección de la columna para el reforzamiento.
- Se elaboraron planos para el reforzamiento.
- Se elaboraron las partidas de actividades para el reforzamiento.
- Se calculó costos de mano de obra, materiales, equipos y rendimientos.

2.8.1. Marco teórico del objetivo específico 5

Para determinar el impacto económico del reforzamiento de 14 columnas con fibra de carbono y compararlo con un reforzamiento de encamisado acero, se incluyeron todas las actividades que un reforzamiento tanto de encamisado acero concreto o con Fibra de Carbono debe seguir. Para del reforzamiento con Fibra de Carbono se calculó la sección de la columna capaz de soportar las nuevas solicitaciones de carga que el proyecto requería. Se identificó las partidas necesarias para ambos tipos de reforzamiento y se elaboraron los precios unitarios para cada partida.

Según Biblus (2017) el análisis de precios unitarios es un estudio analítico de los costos al que está sometido una partida de trabajo en obras civiles, permite definir el precio unitario de la partida individualizando sus principales componentes. Para definir el precio de una partida es necesario efectuar un detallado análisis de los precios individualizando los elementos que lo componen, que generalmente son: mano de Obra, materiales, equipos y maquinarias, gastos generales y utilidad.

Mano de obra: el costo de mano de obra está en función del personal, sus honorarios y el tiempo que dedica a cada labor.

Materiales: el costo está definido por el precio del material, el transporte, almacenaje el porcentaje de merma.

Equipos y maquinarias: el costo de esta variable está en función del precio de compra o alquiler de los equipos y maquinarias, combustible

Gastos generales: son costos indirectos de la obra, como vigilancia, replanteos administración de la obra etc.

Utilidad es el beneficio para la empresa, generalmente un porcentaje del costo directo de la obra. Actualmente en el mercado informático existen varios programas que permiten calcular con precisión el precio de unitario de las partidas.

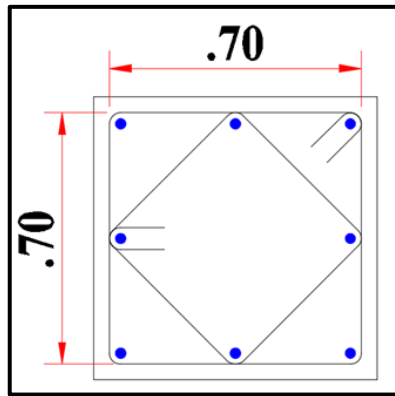
2.8.2. Desarrollo para el objetivo específico 5

Según el requerimiento de las nuevas solicitaciones de carga se calculó una sección de columna tipo que pudiera tener la resistencia que el proyecto requiere. Teniendo las fuerzas axiales máximas que soportaran las columnas podemos decir:

$$Area_{columna} = \frac{P}{0.45 f'_c} = \sqrt{\frac{P}{0.45 f'_c}} = \sqrt{\frac{425\,000}{0.45 \times 210}} = 67,06 \text{ cm}^2$$

Según el resultado, la nueva sección de columna sería $67,06 \text{ cm}^2$, de acuerdo con la norma debemos de llevar la sección a $70 \times 70 \text{ cm}$, la cuantía de acero $8 \phi \frac{3}{4}$, y la resistencia de concreto $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$, serán las mismas.

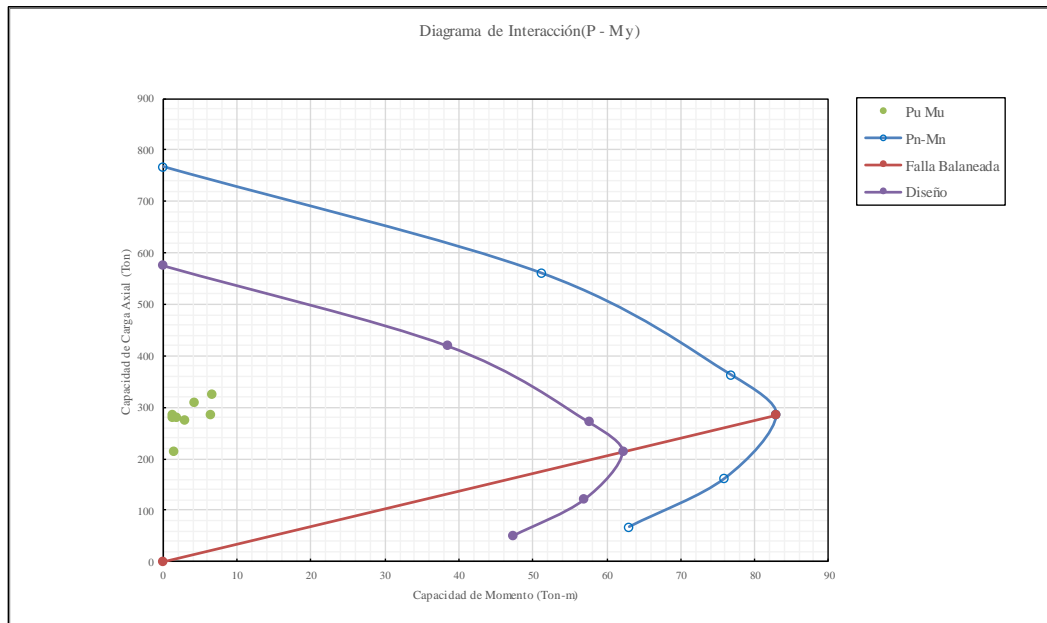
Figura 63. Columna con sección ampliada $70 \times 70 \text{ cm}$.



Fuente: Elaboración propia.

Se verificó mediante un diagrama de interacción si la columna con resistencia $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ con sección de $0.70 \times 0.70 \text{ cm}$. sería una solución para las nuevas solicitaciones de carga.

Figura 64. Diagrama de interacción columna 0.70x0.70 mt.



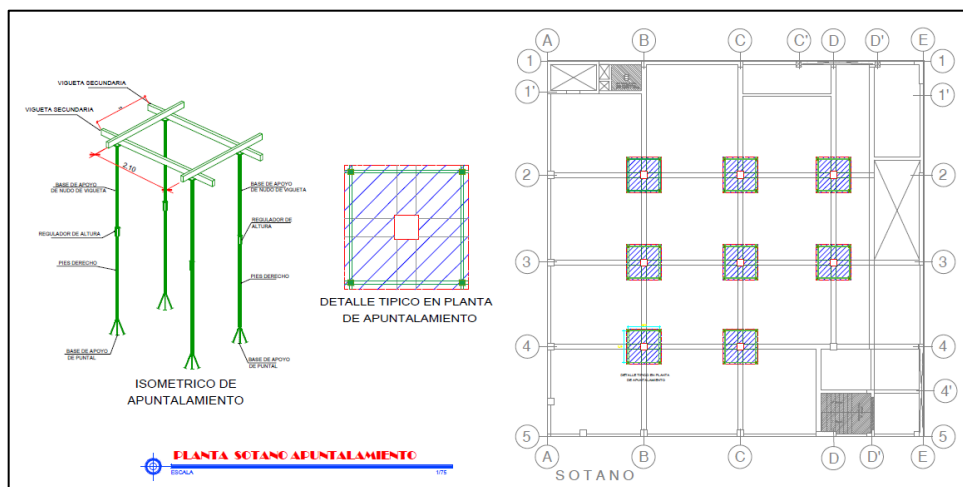
Fuente: Elaboración propia.

Como se muestra el diagrama de interacción la columna con la sección ampliada a 0.70x0.70 mt., con una resistencia de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ cumple con la nueva sollicitación de carga.

Con la nueva sección de columna se elaboraron los precios unitarios APUs de las partidas que involucraría el proceso de reforzamiento con fibra de carbono y con encamisado concreto acero.

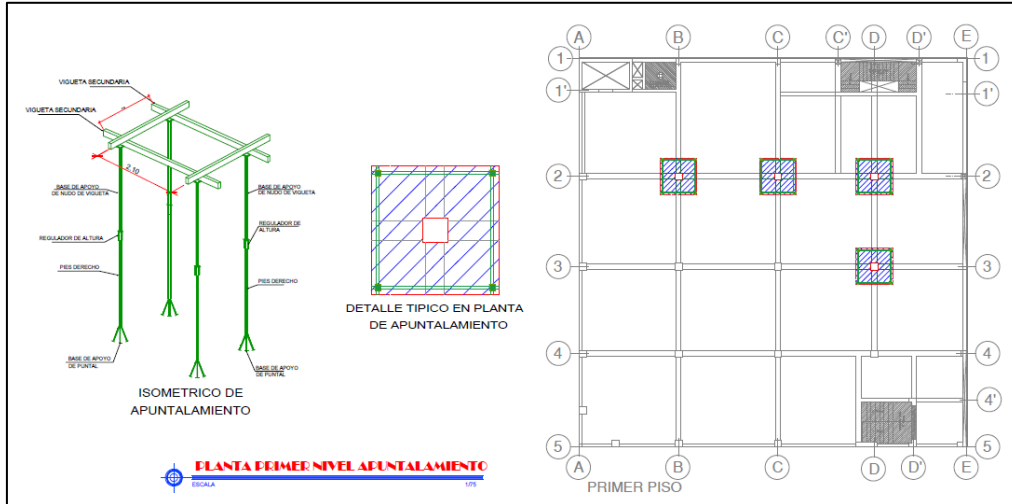
Las figuras abajo mostradas, describen el procedimiento para el reforzamiento de encamisado con acero y concreto. Las partidas y el costo de reforzamiento con encamisado Acero Concreto de 12 columnas, detallan las actividades para este tipo de reforzamiento.

Figura 65. Plano de Apuntalamiento Sótano de la galería



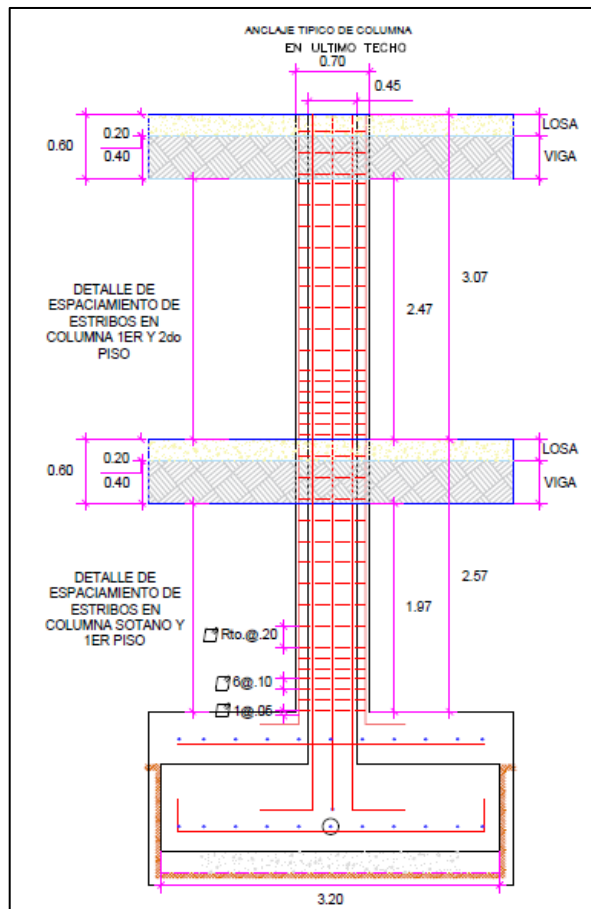
Fuente: Elaboración propia

Figura 66. Plano de apuntalamiento 1er. piso de la galería

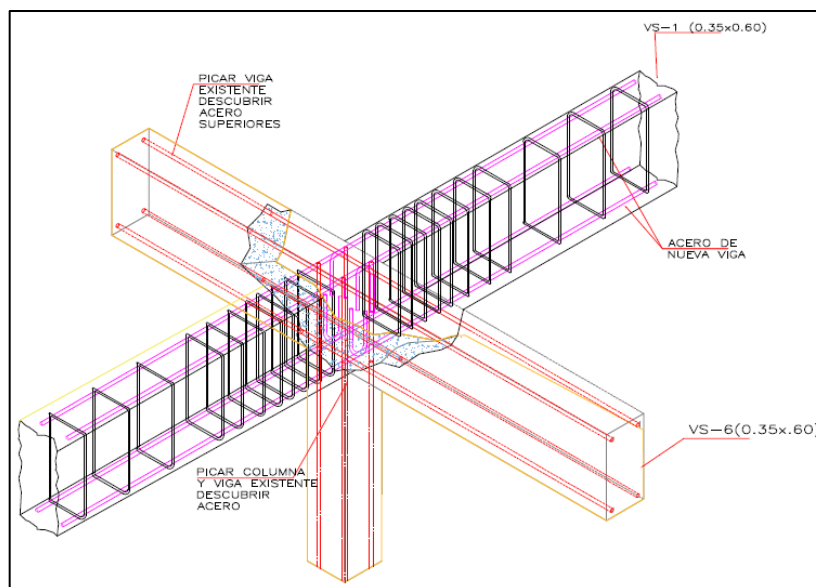


Fuente: Elaboración propia

Figura 67. Diagrama de reforzamiento con Acero Concreto.



Fuente: Elaboración propia

Figura 68. Diagrama de inserción de columna viga para reforzamiento


Fuente: Elaboración propia

Tabla 56. Costo de reforzamiento con encamisado Acero Concreto 12 columnas.

Partidas	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
1	ESTRUCTURAS				
01.02	APUNTALAMIENTO DE LOSA ALIGERADA	Pto	48,00	55,19	2 649,12
01.03	DEMOLICION DE MUROS DE LADRILLO K.K. SOGA	m2	11,60	24,41	283,16
01.04	DEMOLICION DE PISO Y LOSA	m2	41,80	56,07	2 343,73
01.05	PICADO DE TARRAJEO DE COLUMNAS Y VIGAS	m2	79,30	14,68	1 164,12
01.07	EXCAVACION PARA NUEVA ZAPATA	m3	36,60	57,93	2 120,24
01.08	RELLENO CON MATERIAL PROPIO COMPACTADO CON EQUIPO	m3	36,70	24,14	885,94
01.09	ELIMINACION DE MATERIAL DE EXCAVACION Y DEMOLICION	m3	89,70	39,12	3 509,06
01.10	CONCRETO CICLOPEO 1:10 c/h	m3	36,60	151,56	5 547,10
01.11	ZAPATAS: CONCRETO $f'c=175$ kg/cm ²	m3	20,30	284,08	5 766,82
01.12	ZAPATAS: ACERO $f_y=4200$ kg/cm ² $\Phi 3/4$	kg	1 558,00	3,68	5 733,44
01.13	COLUMNAS: CONCRETO $f'c=210$ kg/cm ²	m3	11,80	328,00	3 870,40
01.14	COLUMNAS: ACERO $f_y=4200$ kg/cm ² $\Phi 3/4$	kg	1 005,30	3,68	3 699,50
01.15	COLUMNAS: ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m2	91,70	50,89	4 666,61
01.16	VIGAS: CONCRETO $f'c=210$ kg/cm ²	m3	1,00	301,78	301,78
01.17	VIGAS: ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m2	20,50	56,34	1 154,97
01.18	LOSA ALIGERADA: CONCRETO $f'c=210$ kg/cm ²	m3	1,50	328,00	492,00

01.19	LOSA ALIGERADA: ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m2	20,30	56,34	1 143,70
2	ARQUITECTURA				
02.01	MURO DE LADRILLO TIPO SOGA	m2	8,35	60,28	503,34
02.02	TARRAJEO DE VIGAS	m2	20,52	36,55	750,01
02.03	TARRAJEO DE COLUMNAS	m2	91,70	29,03	2 662,05
02.04	TARRAJEO DE CIELO RASO	m2	20,28	40,18	814,85
02.05	PISO DE LOSETA VENECIANA 0.30X0.30	m2	6,75	24,46	165,11
02.06	ZOCALOS CERAMICA 0.30x0.20 m	m2	1,30	77,41	100,63
02.07	PINTURA LATEX 02 MANOS EN COLUMNAS VIGAS Y CIELO RASO	m2	132,50	17,80	2 358,50
02.08	PINTURA LATEX 2 MANOS EN MUROS	m2	8,35	17,80	148,63
			TOTAL S/,		52 834,81

Fuente: Elaboración propia.

Figura 69. Reforzamiento con encamisado acero concreto.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 70. Apuntalamiento columna.



Fuente: Diseños & Acabados Premium SAC 2016

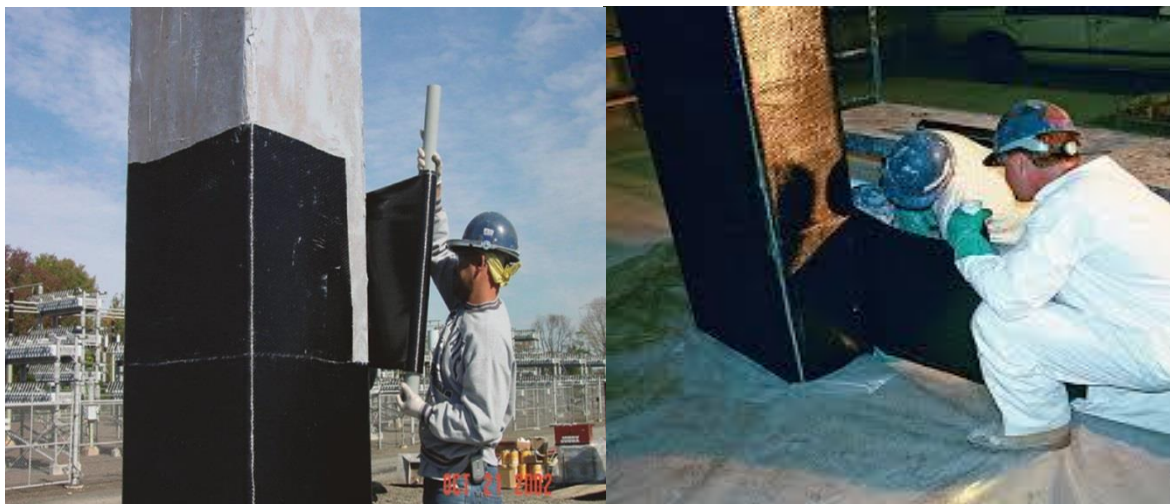
El segundo cuadro muestra las partidas del reforzamiento de las columnas con fibra de carbono aplicado exteriormente.

Tabla 57. Costo del reforzamiento con Fibra de Carbono

REFORZAMIENTO CON FIBRA DE CARBONO PARA 12 COLUMNAS NO CIRCULARES					
PARTIDA	DESCRIPCION	Unid	Metrado	Precio Unitario	Precio Total
01, 01	DEMOLICION DE MURO DE LADRILLO KK SOGA	M2	11,60	24,41	283,16
01, 02	PICADO DE TARRAJEO EN COLUMNAS	m2	79,30	14,68	1 164,12
01, 03	ELIM, MATERIAL EXCED, CARG, MANUAL / VOLQUETE	m3	5,40	39,12	211,25
01, 04	TARRAJEO NIVELACION DE SUPERFICIE DE COLUMNAS MEZ C:A 1, 2 E=1, 5 CM + Aditivo de anclaje	m2	91,70	35,48	3 253,52
01, 05	REFORZAMIENTO CON FIBRA DE CARBONO EN MANTA DE 300GR/M2	m2	229,08	58,37	13 371,40
01, 06	PEGAMENTO EPOXICO A+B	m2	64,80	24,17	1 566,22
	TARRAJEO COLUMNAS MEZ C:A 1, 4 E= 2, 0 CM	m2	91,70	32,86	3 013,26
01, 07	PINTURA LATEX 02 MANOS EN COLUMNAS VIGAS Y CIELO RASO	m2	132,50	17,80	2 358,50
TOTAL S/,					21 979,00

Fuente: Elaboración propia.

Figura 71. Aplicación de Fibra de Carbono en Columnas.



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Resultado del objetivo Específico 1

Para conocer la resistencia del concreto se decidió realizar una prueba diamantina que consistió en la extracción de muestras de concreto para ser ensayadas en el laboratorio y determinar su resistencia a la compresión. Una visita técnica a la galería sirvió para determinar que 3 columnas ubicadas en el sótano de la galería serían intervenidas para la extracción de la muestra por ser las que estructuralmente soportan mayor carga tributaria (ver Figura 7 Columnas intervenidas para la extracción de muestras).

La determinación de la resistencia estuvo a cargo del laboratorio de la Universidad Nacional de Ingeniería quienes extrajeron 3 muestras de tres columnas centrales que fueron llevados al laboratorio (ver figura 7, Columnas intervenidas para extracción de muestra).

Tabla 58. Columnas con nuevas solicitaciones reforzadas con CFRP

Muestra	Resistencia a Compresión Kg/cm ²
Columna-1	281
Columna-2	189
Columna-3	282

Fuente: Elaboración Propia.

Con el ensayo del concreto se tuvo la certeza que para los análisis posteriores se podría utilizar la resistencia de diseño del concreto 210 kg/cm²., ya que la resistencia promedio es 250 kg/cm².

3.2. Resultado del objetivo Específico 2

El análisis realizado a la estructura actual de la galería para conocer su funcionalidad, determino que la galería comercial Fullmarket 2019, tal como está construida cumple con el RNE en cuanto a sus cargas y desplazamientos.

Tabla 59. Carga Axial y Momentos columna C1

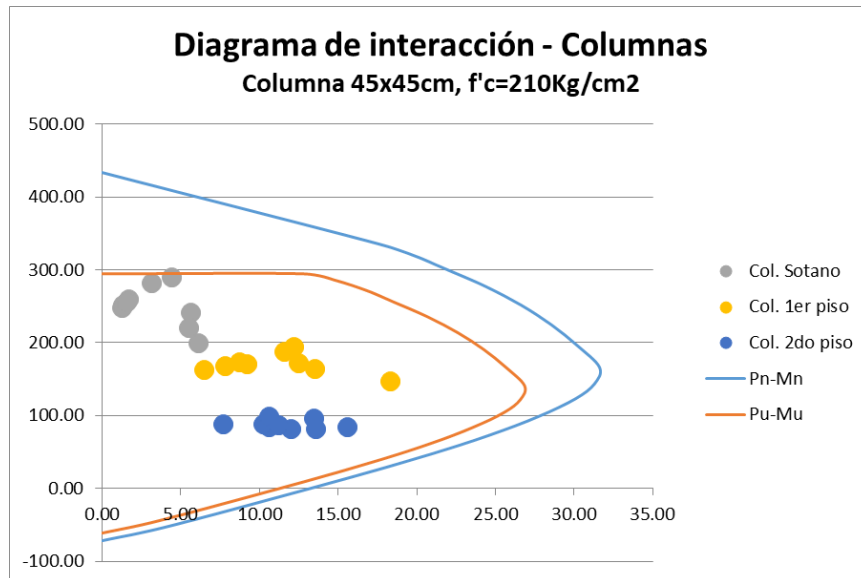
Nivel	Fuerza axial Kg.	Momento 2 Kg - m	Momento 3 Kg-m
Sótano	293,468.08	4,428.73	4,575.13
Primer	194,175.32	16,280.16	15,856.24
Segundo	34,146.97	15,728.80	18,491.45

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con las cargas obtenidas y para verificar si se encontraban dentro de la curva de diseño se elaboró un diagrama de interacción representando gráficamente la fuerza axial y

momentos de la columna; desplazando las cargas y momentos, verificando que se encuentran dentro de la curva de diseño.

Figura 72. Diagrama de Interacción Carga-Momento Columna C1 (45x45cm.)



Fuente: Elaboración propia

Las cargas axiales momentos para las vigas de los pisos de la galería también fueron verificadas encontrándose dentro de las solicitaciones de la galería. Ver Tabla 7 Fuerza cortante momentos positivos y negativos máximos. El resultado del análisis de la estructura actual de la galería Fullmarket para conocer la funcionalidad de la galería, determino que la estructura actual se encontraba dentro de lo establecido por el RNE en lo que respecta a cargas y desplazamientos.

3.3. Resultado del objetivo Específico 3

El diseño de los refuerzos con la aplicación de la Fibra de Carbono (CFRP) en las muestras cilíndricas dio como resultado el aumento de la resistencia en todos los casos. De las 8 muestras cilíndricas de concreto 4 de ellas reforzadas con fibra de carbono y llevadas al laboratorio para prueba de resistencia se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 60. Resultado de muestras reforzadas con CFRP de Laboratorio.

Código de Muestra	Resistencia Nominal Kg/cm ²	Fibra de Carbono Aplicada Gr/m ²	Cantidad de capas (n)	Resistencia Obtenida Kg/cm ²
P-1	210.00	600	1	598
P-2	210.00	600	1	541
P-3	210.00	300	2	561
P-4	210.00	300	3	691
P-5	210.00	0	0	258

P-6	210.00	0	0	291
P-7	210.00	0	0	257
P-8	210.00	0	0	290

Fuente: Elaboración propia

Los resultados del laboratorio se validaron con la fórmula para el cálculo de aumento de resistencia según la Norma ACI 440 2R 17. Obteniéndose el siguiente resultado.

Tabla 61. Resultado ACI 440 2R 17 de muestras reforzadas con CFRP

f'c inicial kg/cm ²	#n de Capas de CFRP	f'cc de Laboratorio kg/cm ²	f'cc ACI 440 2R 17kg/cm ²	Diferencia %
258	1	598	573.64	-4.25
258	1	541	573.64	5.69
258	2	561	574.58	2.36
258	3	691	732.87	5.71

Fuente: Elaboración propia

3.3.1. Contraste de la Prueba de Hipótesis Específica 3

3.3.1.1. Planteamiento de la prueba de hipótesis del investigador:

El diseño de refuerzos mediante la aplicación de la Fibra de Carbono (CFRP) es adecuado para las columnas de la galería Fullmarket, 2019.

3.3.1.2. Planteamiento estadístico de la prueba de hipótesis:

- ❖ **Hipótesis Nula (Ho):** No existe un aumento significativo entre las medidas de las Resistencias a la Compresión del grupo con el tratamiento respecto al grupo sin el tratamiento.

Promedio de la Resistencia con tratamiento \leq Promedio de la Resistencia sin tratamiento.

- ❖ **Hipótesis Alterna (Ha):** Existe un aumento significativo entre las medidas de las Resistencias a la Compresión del grupo con el tratamiento respecto al grupo sin el tratamiento.

Promedio de la Resistencia con tratamiento $>$ Promedio de la Resistencia sin tratamiento

El tratamiento del diseño consiste en aplicar fibra de carbono (CFRP) a las 4 probetas del segundo grupo.

3.3.1.3. Consideraciones de la prueba

- Definimos nuestro nivel de significancia $\alpha=0.05$ (5%), que es el porcentaje de error que estamos dispuesto a asumir al realizar nuestra prueba.
- Para el análisis de la prueba, utilizaremos la prueba paramétrica T-Student para muestras independientes debido a que la investigación es de tipo transversal, es decir se trata de dos grupos en comparación, la variable Resistencia a la Compresión es cuantitativa y el tamaño de las muestras de cada grupo son menores a 30, antes de realizar esta prueba previamente probaremos los supuestos de Normalidad y Homogeneidad.
- Todas las pruebas se realizarán con el programa estadístico SPSS v.25.

3.3.1.4. Normalidad

- Se comprueba con Kolmogorov-Smirnov para muestras grandes o la de Chapiro Wilk. para muestras pequeñas, para nuestro estudio utilizaremos la de Chapiro Wilk.
- Planteamiento de las hipótesis
 Ho: Los datos provienen de una distribución normal
 Ha: Los datos no provienen de una distribución normal
- Criterio para determinar la normalidad
 - Si p-valor de la prueba $< \alpha=0.05$, entonces se rechaza la hipótesis nula Ho.
 - Si p-valor de la prueba $\geq \alpha=0.05$, entonces se acepta la hipótesis nula Ho.

3.3.1.5. Resultados de la prueba de Normalidad.

Tabla 62. Corrección de significación de Lilliefors

Pruebas de normalidad							
Grupo Probetas		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Resistencia a la Compresión	Sin Tratamiento	0.299	4		0.770	4	0.058
	Con Tratamiento	0.249	4		0.900	4	0.429

Fuente: Elaboración propia del SPSS v.25

Decisión:

- p-valor de las probetas sin tratamiento $0.058 > 0.05$
- p-valor de las probetas con tratamiento $0.429 > 0.05$
- Como los dos p-valor son significativamente mayores a 0.05 entonces aceptamos la hipótesis nula.

Conclusión:

La variable resistencia a la compresión en ambos grupos se distribuyen normalmente.

3.3.1.6. Homogeneidad de las varianzas

- Se comprueba con la prueba de Levene
- Planteamiento de las hipótesis
 - H_0 : Las varianzas en ambos grupos son iguales
 - H_a : Existe diferencia significativa entre las varianzas
- Criterio para determinar la homogeneidad de las varianzas
 - Si p-valor de la prueba $< \alpha=0.05$ entonces se rechaza la hipótesis nula H_0 .
 - Si p-valor de la prueba $\geq \alpha=0.05$ entonces se acepta la hipótesis nula H_0 .

Tabla 63. Resultados de la prueba de Homogeneidad y la prueba T-Student

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
								Inferior	Superior	
Resistencia a la Compresión	Se asumen varianzas iguales	2.547	0.162	-9.369	6	0.000	-323.000	34.474	-407.355	-238.645
	No se asumen varianzas iguales			-9.369	3.447	0.001	-323.000	34.474	-425.081	-220.919

Fuente: Elaboración propia del SPSS v.25

Decisión:

- p-valor de la prueba de Levene $0.162 > 0.05$
- Como el p-valor es significativamente mayor a 0.05 entonces se acepta la hipótesis alterna, por lo tanto, se concluye que las varianzas de ambos grupos son iguales.

Conclusión:

La variable resistencia a la compresión en ambos grupos se distribuyen normalmente.

3.3.1.7. Prueba T Student

- Una vez probado los supuestos de normalidad y homogeneidad, ya se puede probar la prueba T Student.
- El p-valor de significancia de la prueba t, es el sig (bilateral) que se encuentra en la primera fila donde se asumen varianzas iguales (p-valor=0.000)
- Criterio para determinar la prueba t
 - Si p-valor de la prueba $< \alpha=0.05$ entonces se rechaza la hipótesis nula H_0 .
 - Si p-valor de la prueba $\geq \alpha=0.05$ entonces se acepta la hipótesis nula H_0 .

Decisión

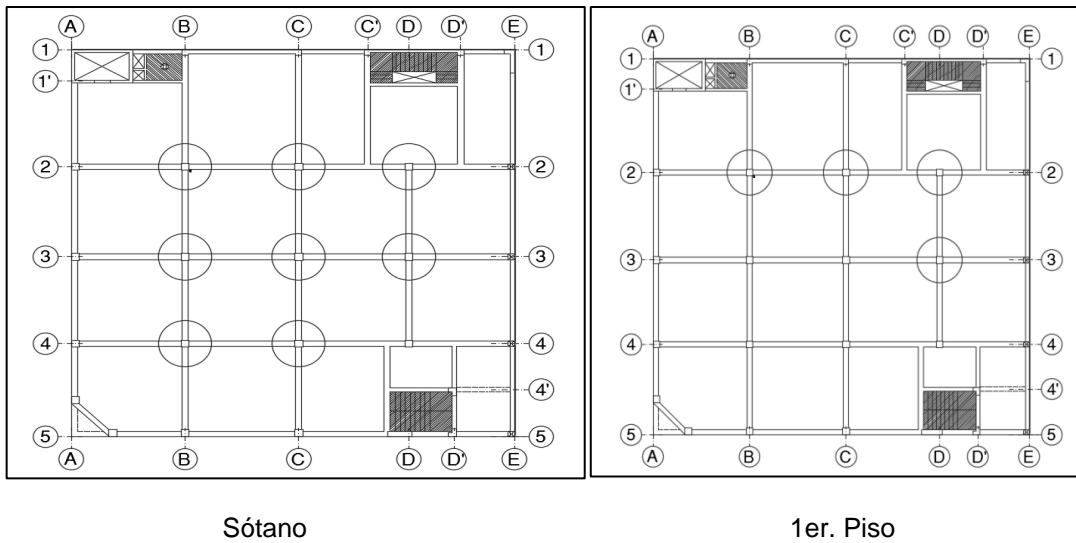
- p-valor de la prueba $t= 0.000 < 0.05$
- Como el p-valor es significativamente menor a 0.05 entonces se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto, se acepta la hipótesis alterna o del investigador.

Visto y evaluados los resultados se puede concluir que la Fibra de Carbono Si eleva la resistencia al concreto.

3.4. Resultado del objetivo Específico 4

El resultado del análisis estructural con respecto a las cargas axiales realizado al proyecto, construcción de dos niveles adicionales (aplicación de nuevas cargas), mostro fallas potenciales en las columnas del sótano y primer piso de la galería. Ocho columnas en el sótano y cuatro columnas en el primer piso tendrían que ser reforzadas:

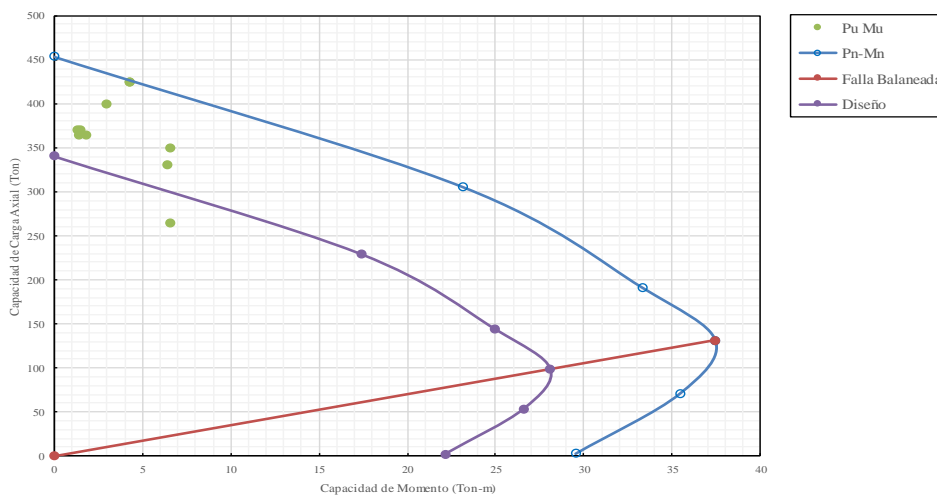
Figura 73. Columnas del sótano y 1er. piso que requieren reforzamiento



Fuente: Elaboración propia

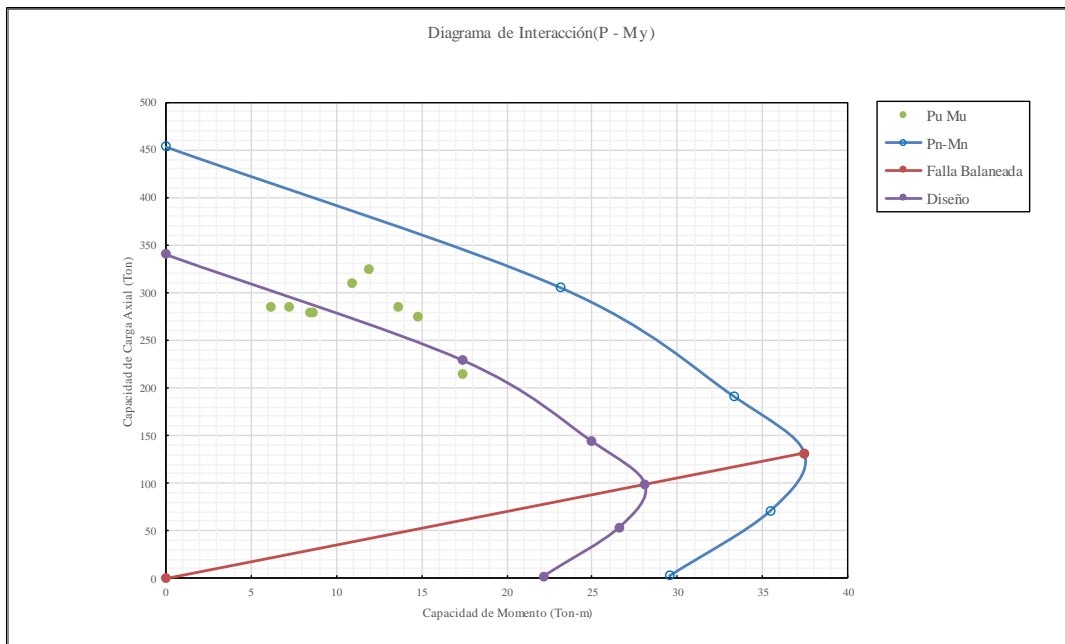
Un diagrama de interacción verifico que 8 columnas del sótano y 4 en el 1er. piso requieren reforzamiento y Figura 50 Columnas del 1er. piso que requieren reforzamiento.

Figura 74. columnas en el sótano que requieren reforzamiento.



Fuente: Elaboración propia.

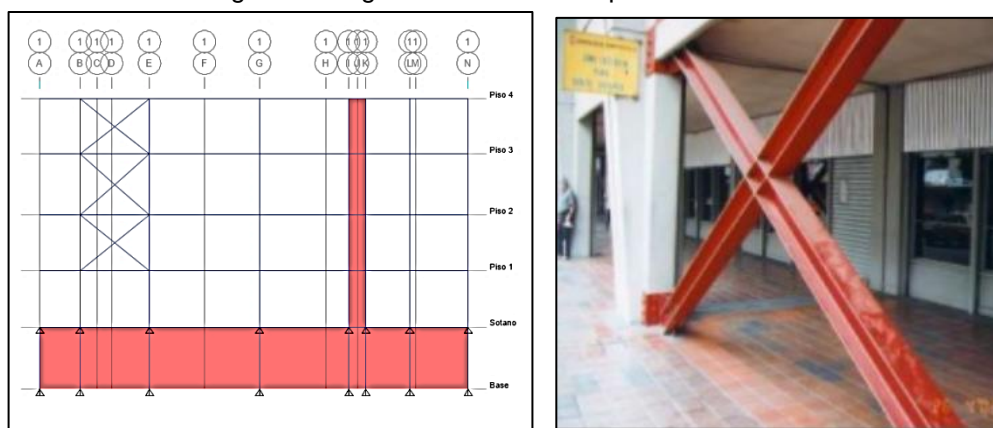
Figura 75 columnas en 1er. piso que requieren reforzamiento.



Fuente: Elaboración propia.

Respecto a los resultados obtenidos para los desplazamientos del proyecto se observó que los pisos 2 y 3 mostraron por encima de lo permitido en la Norma E.030 del RNE. Capítulo 3 artículo 15 Desplazamientos Laterales Permisibles máximo para concreto armado 0,007. El análisis muestra en el 2do., piso desplazamientos en $X=0,0098$, $Y=0,0087$, en el 3er. piso $X=0,0081$, en $Y=0,0078$ lo que determino rigidizar la estructura con perfiles de acero tipo ASTM A-572 GR 50 – WF.

Figura 76. Rigidización de los desplazamientos.



Fuente: Yagual (2014)

Ingresados los cálculos al programa ETABS, para un nuevo modelamiento, este mostro desplazamientos menores a 0,007 solucionando la excentricidad (ver Tabla 22. Desplazamientos de la estructura luego de aplicados los perfiles de Acero).

Para las nuevas solicitaciones de carga de las columnas en el sótano y primer piso de la galería todas fueron reforzadas con Fibra de Carbono CFRP, hasta lograr resistencias por encima de lo solicitado.

Tabla 64. Columnas no circulares con nuevas solicitaciones reforzadas con CFRP.

RESISTENCIAS DE COLUMNAS					
Nivel	Eje	Actual Kg	Proyecto Kg	Reforzada Kg	(n) CFRP
Sotano	B-2	282 000,00	400 000,00	400 290,00	6
	B-3	252 000,00	370 000,00	372 820,00	5
	B-4	260 000,00	365 000,00	372 820,00	5
	C-2	293 500,00	425 000,00	427 760,00	7
	C-3	248 000,00	370 000,00	372 820,00	5
	C-4	255 500,00	365 000,00	372 820,00	5
	D-2	241 500,00	350 000,00	372 820,00	5
	D-3	220 000,00	330 000,00	345 350,00	4
Primer	B-2	188 000,00	310 000,00	317 880,00	3
	C-2	194 500,00	325 000,00	345 350,00	4
	D-2	172 000,00	285 000,00	317 880,00	3
	D-3	163 500,00	275 000,00	317 880,00	3

Fuente: Elaboración propia.

3.4.1. Contraste de la Prueba de Hipótesis Específica 4

3.4.1.1. Planteamiento de la prueba de hipótesis del investigador:

El diseño de refuerzos mediante la aplicación de la Fibra de Carbono (CFRP) es adecuado para las columnas de la galería Fullmarket, 2019.

3.4.1.2. Planteamiento estadístico de la prueba de hipótesis:

- ❖ **Hipótesis Nula (Ho):** No existe un aumento significativo entre las medias de las Resistencias a la Compresión antes y después del tratamiento

Promedio de la Resistencia después del tratamiento \leq Promedio de la Resistencia antes del tratamiento

- ❖ **Hipótesis Alterna (Ha):** Existe un aumento significativo entre las medias de las Resistencias a la Compresión antes y después del tratamiento

Promedio de la Resistencia después del tratamiento $>$ Promedio de la Resistencia antes del tratamiento

El tratamiento del diseño consiste en aplicar fibra de carbono (CFRP) a las columnas de la galería Fullmarket 2019.

Tabla 65. Resistencias actuales, requerida y solicitada y reforzada para el proyecto

RESISTENCIAS DE COLUMNAS					
Nivel	Eje	Actual Tn	Proyecto Tn	Reforzada Tn	(n) CFRP
Sótano	B-2	282.00	400.29	400.00	6
	B-3	252.00	372.82	370.00	5
	B-4	260.00	372.82	365.00	5
	C-2	293.50	427.76	425.00	7
	C-3	248.00	372.82	370.00	5
	C-4	255.50	372.82	365.00	5
	D-2	241.50	372.82	350.00	5
	D-3	220.00	345.35	330.00	4
Primer	B-2	188.00	317.88	310.00	3
	C-2	194.50	345.35	325.00	4
	D-2	172.00	317.88	285.00	3
	D-3	163.50	317.88	275.00	3

Fuente: Elaboración propia.

3.4.1.3. Consideraciones de la prueba

- Definimos nuestro nivel de significancia $\alpha=0.05$ (5%), que es el porcentaje de error que estamos dispuesto a asumir al realizar nuestra prueba.
- Para el análisis de la prueba, utilizaremos la prueba paramétrica T-Student para muestras relacionadas debido a que la investigación es de tipo longitudinal, es decir se trata de un grupo de 12 columnas que se comparan dos medidas en diferente tiempo (antes y después de un tratamiento), la variable Resistencia a la Compresión es cuantitativa y el tamaño de las muestras de cada grupo son menores a 30, antes de realizar esta prueba previamente probaremos el supuesto de Normalidad.
- Todas las pruebas se realizarán con el programa estadístico SPSS v.25.

3.4.1.4. Normalidad

- Se comprueba con Kolmogorov-Smirnov para muestras grandes o la de Chapiro Wilk para muestras pequeñas, para nuestro estudio utilizaremos la de Chapiro Wilk.
- Planteamiento de las hipótesis
Ho: Los datos provienen de una distribución normal
Ha: Los datos no provienen de una distribución normal
- Criterio para determinar la normalidad
 - Si p-valor de la prueba $< \alpha=0.05$ entonces se rechaza la hipótesis nula Ho.
 - Si p-valor de la prueba $\geq \alpha=0.05$ entonces se acepta la hipótesis nula Ho.

3.4.1.5. Resultados de la prueba de Normalidad

Tabla 66. Corrección de significación de Lilliefors

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Resistencia Antes	0.181	12	,200 [*]	0.939	12	0.486
Resistencia Después	0.215	12	0.132	0.903	12	0.172

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

Fuente: Elaboración propia del SPSS v.25

Decisión

- p-valor antes del tratamiento = $0.486 > 0.05$
- p-valor después del tratamiento = $0.172 > 0.05$
- Como los dos p-valor son significativamente mayores a 0.05 entonces aceptamos la hipótesis nula.

Conclusión

La variable resistencia a la compresión antes y después del tratamiento se distribuyen normalmente.

3.4.1.6. Resultados de la prueba t Student

Tabla 67. Estadísticas muestras relacionadas

Estadísticas de muestras Relacionadas					
		Media	N	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Par 1	Resistencia Antes	230.8750	12	42.77644	12.34849
	Resistencia Después	361.3742	12	34.06589	9.83397

Fuente: Elaboración propia del SPSS v.25

El cuadro estadístico nos muestra que la media de las resistencias después del tratamiento es mayor a la media de las resistencias antes del tratamiento ($230.87 < 361.37$), ahora mediante la prueba t debemos probar que este incremento es significativo y que no es producto del azar.

Tabla 68. Prueba muestras relacionadas

Prueba de muestras Relacionadas									
		Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	Resistencia Antes - Resistencia Después	-130.499	13.565	3.916	-139.118	-121.881	-33.327	11	0.000

Fuente: Elaboración propia del SPSS v.25

3.4.1.7. Prueba T Student

- Una vez probado los supuestos de normalidad, ya se puede probar la prueba T Student.
- El p-valor de significancia de la prueba t, es el sig (bilateral) = 0.000
- Criterio para determinar la prueba t
 - Si p-valor de la prueba $< \alpha=0.05$ entonces se rechaza la hipótesis nula H_0 .
 - Si p-valor de la prueba $\geq \alpha=0.05$ entonces se acepta la hipótesis nula H_0 .

Decisión

- p-valor de la prueba $t= 0.000 < 0.05$
- Como el p-valor es significativamente menor a 0.05 entonces se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto, se acepta la hipótesis alterna o del investigador.

Visto y evaluados los resultados se puede concluir que la Fibra de Carbono Si eleva la resistencia al concreto.

3.3. Resultado del objetivo Específico 5

Los costos evitados para determinar el impacto económico del reforzamiento con Fibra de Carbono (CFRP) de la galería comercial Fullmarket, 2019. Dio como resultado que el reforzamiento con fibra de carbono es más económico que un reforzamiento con encamisado acero concreto, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 69. Costos de reforzamiento de 12 columnas.

DESCRIPCION	IMPORTE
REFORZAMIENTO ENCAMISADO CON CONCRETO ACERO	S/52 834,81
REFORZAMIENTO CON FIBRA DE CARBONO	S/21 979,00

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla anterior se puede observar que el reforzamiento con fibra de carbono CFRP genera un ahorro económico de 58.4% respecto al reforzamiento convencional concreto acero. Los motivos son principalmente los tiempos y materiales usados. Para el reforzamiento con Fibra de Carbono CFRP, el tiempo es significativamente menor, lo que reduce el costo por mano de obra. De los materiales utilizados, mientras que para el reforzamiento con Fibra de Carbono se utiliza fibra de carbono en manta cuya presentación es en rollos y resina epóxica en galones (ver Figura 77. Aplicación de Fibra de Carbono en Columnas), en el reforzamiento concreto acero se necesita, área suficiente para el almacenamiento y dimensionado del acero para la nueva armadura, madera, alambre, clavos para encofrado, cemento, arena, piedra, agua para el concreto, además de la demolición de la losa, piso y contrapiso para sembrar la armadura (ver Figura 69. Reforzamiento con encamisado de acero concreto). Adicionalmente el trabajo de reforzamiento con fibra de carbono genera menos desmonte, polvo y ruido, así como menor obstrucción que si se hiciera con concreto y acero.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

4.1.1. Discusión del objetivo Específico 1

Para conocer la resistencia del concreto de las columnas de la galería se utilizó el ensayo diamantino por ser el más exacto y confiable, se han hecho muchos intentos de crear pruebas no destructivas con el esclerómetro o el método de rebote de martillo, pero sin éxito.

Según Zambrano Rojas (2017) en su investigación realizada sobre “*comparación de los ensayos de diamantina y esclerometría de los jirones Japón, Portugal y Brasil*” cuyo objetivo fue contrastar valores provenientes de muestras diamantinas y esclerometría efectuados en el pavimento de los jirones Japón, Portugal y Brasil en Cajamarca. Se analizaron 18 extracciones de especímenes de concreto de 4" de diámetro con diamantina ensayados a compresión según la Norma Técnica vigente y 18 ensayos de esclerometría convenientemente ubicados según el área en estudio. Los resultados mostraron diferencia entre los ensayos de esclerometría, 19.39% mayores que los ensayos diamantinos, concluyendo que, para conocer la resistencia del concreto, recomienda el uso del ensayo diamantino por ser más preciso y confiable en sus resultados.

Los resultados del ensayo diamantino ayudaron a conocer la resistencia del concreto y tener la seguridad que daños al concreto por sismos, corrosiones, agentes exteriores, impactos, suelos expansivos, asientos de terreno, acciones ambientales no hayan mermado su resistencia en la estructura de la galería. Ingenieros del Laboratorio de la Universidad Nacional de Ingeniería, fueron los encargados de la extracción y ensayo de muestras según el método de ensayo NTP 339.034.2008 y NTP 339.059.2011 obteniendo los resultados mostrados en la Tabla 2 (Resultado del ensayo de las muestras diamantinas), brindando seguridad que la resistencia obtenida está por encima de la resistencia de diseño $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$.

4.1.2. Discusión del objetivo Específico 2

El análisis realizado a la estructura actual de la galería con ayuda del programa ETABS determino que la estructura se encontrara en pleno servicio. Sobre el uso del programa ETABS para el análisis de la estructura, de acuerdo con Saravia Ramírez (2013) en su estudio realizado sobre “*Análisis y diseño con Etabs, su aplicación adecuada y comprobación de resultados, aplicado a edificios de concreto armado*”, cuyo objetivo fue desarrollar confianza en los usuarios para el uso de este programa para el Análisis y Diseño Estructural de Edificios de concreto armado, y que pueda ser aplicado por estudiantes y profesionales de ingeniera civil y estructural. Saravia Ramírez menciona que el programa ETABS es eficiente para el análisis y diseño estructural, su uso genera confianza en la comunidad de usuarios, sin embargo, concluye diciendo que el programa ETBAS no elimina el criterio del ingeniero estructural, solo facilita los procesos de cálculos, análisis y diseño.

ETABS es un programa altamente confiable para el modelamiento y análisis estructural, brinda la posibilidad de importar modelos desde programas como Autocad y exportar los resultados a programas, como SAP2000, SAFE, Microsoft Access, Microsoft Excel, Microsoft Word y otros. ETABS cuenta con interfaz gráfica fácil y completa, vinculada con poderosas herramientas, ofreciendo al ingeniero estructural, un programa de análisis y diseño de edificaciones eficiente y productivo.

Al respecto Alves Gonzales & Lares Fernández (2011) en su trabajo de “Análisis Dinámico de una Estructura Irregulares empleando el programa de cálculo estructural ETABS”, hace uso del programa para sus objetivos considerándolo como una herramienta ideal para el diseño y análisis de edificaciones de usos diversos.

4.1.3. Discusión del objetivo Específico 3

La Fibra de Carbono y la resina epóxica no se produce en nuestro país; para realizar el presente estudio tuvieron que ser importados siendo esto un impedimento técnico económico. Para el confinamiento de las muestras cilíndricas de concreto con CFRP se tuvo que seguir los protocolos del fabricante. La Fibra de Carbono se produce en diferentes gramajes y su utilización depende de su aplicación. Para la elaboración de este trabajo se importó fibra de carbono unidireccional en manta de 300 y 600 gr/m²., de igual forma la resina epóxica.

. Flores Baldeón (2015), en su análisis sobre la fibra de carbono, muestra tablas del código alemán de concreto reforzado evidenciando que todos los concretos reforzados en función al número de capas aplicadas elevan su resistencia. La siguiente tabla muestra el aumento de resistencia para columnas no circulares con resistencia de concreto nominal 210 kg/cm² y su reforzamiento con fibra de carbono.

Tabla 70. Código Alemán de CFRP para columnas no circulares.

Concreto f'c=210 kg/cm ²				
# capas	ε _u	f'c	f'cc	f'cc/f'c
1	0.006500	218.021	252.531	1.16
2	0.009499	218.065	287.084	1.32
5	0.018498	218.195	390.744	1.79
7	0.024498	218.282	459.85	2.11
9	0.030497	218.369	528.957	2.42
10	0.033497	218.413	563.510	2.58
15	0.048495	218.630	736.276	3.37
20	0.063494	218.847	909.042	4.15

Fuente: Flores Baldeón (2017)

Los valores de aumento de resistencia de la tabla alemana mostrada en el estudio de Flores Baldeón (2017) son similares a los aumentos de resistencia demostrados en el presente trabajo. Como ejemplo elegimos #capas=7 de la tabla alemana esta muestra que para una resistencia de concreto f_c de 218,282 kg/cm² después de aplicada 7 capas de fibra de carbono la resistencia se eleva a 459,850 kg/cm². En el presente estudio para un concreto con resistencia de 210 kg/cm² después de aplicada 7 capas de fibra de carbono la resistencia se eleva a 427,760.

4.1.4. Discusión del objetivo Específico 4

El análisis estructural realizado al proyecto de ampliación evidenció fallas en las columnas de la estructura de la galería debido a las nuevas cargas; el análisis determinó que 8 columnas en el sótano y 4 en el primer piso deberían ser reforzadas, también corregir los desplazamientos originados por los dos niveles adicionales. Producto de varios ensayos e iteraciones con el programa ETABS se decidió el uso de los perfiles de acero WF 10x45 solucionando con ellos los desplazamientos originados.

Para las cargas axiales aplicadas que generan nuevas solicitaciones, se determinó el reforzamiento de las columnas con CFRP. El uso de la fibra de carbono no solo soluciona la falta de resistencia sino también inconvenientes en el proceso de reforzamiento como ruidos, polvo, desmonte, acarreo de materiales como acero, cemento y agregados que impiden el funcionamiento y tránsito en la galería.

La norma ACI 440 2R 17 en el proceso de reforzamiento de columnas distingue entre circulares y no circulares. El requerimiento de fibra de carbono para aumentar la resistencia en columna no circular es mayor que en columna circular, esto se pudo evidenciar en el presente trabajo. Los resultados del laboratorio mostraron que para elevar la resistencia a 598 kg/cm² de una muestra cilíndrica de concreto de 210 kg/cm² de resistencia que equivaldría a una columna circular se requiere 1 capa de fibra de carbono de 600 gr/m² o 2 capas de fibra de carbono de 300gr/m² que la eleva a 561 kg/cm². Para una columna no circular de 293,5 ton de resistencia elevarla a 425,0 ton se requiere 7 capas de fibra de carbono, que demuestra que la fibra de carbono es más eficiente en columnas circulares que en columnas no circulares.

4.1.5. Discusión del objetivo Específico 5

En los cuadros comparativos de análisis de costos obtenidos en este estudio, se utilizaron las partidas más representativas de las actividades que el reforzamiento acarrearía. Partidas como, movilización y desmovilización de equipos y maquinarias o elementos personales de seguridad y colectivos no fueron incluidas ya que la diferencia no variaría mucho los costos totales. En el presente trabajo se demuestra que el reforzamiento con fibra de carbono es 58,4% menor al reforzamiento encamisado de acero y concreto. Costo de reforzamiento concreto acero S/.52 834,10 Costo de reforzamiento con fibra de carbono S/.21 979,00 para las 12 columnas que requieren

reforzamiento, es decir genera un ahorro monetario de 58.4% respecto del reforzamiento encamisado con acero y concreto.

Tabla 71. Costos de reforzamiento de 12 columnas.

Tipo de Reforzamiento	Totales	Observac.
Con encamisado barras Acero y Concreto	S/ 52 834,81	CFRP 58.4% mas económico.
Con CFRP + Resina Epóxica	S/ 21 979,00	

Fuente: Elaboración propia.

Según Alegre, G (2017) en su “*Estudio de la influencia en la resistencia y ductibilidad de las fibras de carbono utilizadas como reforzamiento de vigas de concreto armado*”, realiza un comparativo de costos de reforzamiento para la ampliación de sección de viga con acero concreto y el reforzamiento de la misma viga reforzada con fibra de carbono. Para Alegre el reforzamiento con encamisado concreto acero de la viga tiene un costo de S/. 164.69 ml., y el reforzamiento con fibra de carbono un costo de S/.237.35 ml. No obstante, menciona que “*Sin embargo se debe considerar que el reforzamiento de una estructura mediante el método de emcamisado (incremento de sección de viga de concreto armado) genera otros costos indirectos relacionados a la ejecución de su partida*”.

En el estudio de Alegre (2017) no se consideró todas las partidas respecto a las actividades de un proceso de reforzamiento de esa naturaleza menos entonces los costos de cada una de sus partidas por lo que no sería válido afirmar que el reforzamiento con fibra de carbono es más caro que reforzar encamisando la columna con acero concreto.

Calla Deza, L. (2017). En su estudio “*Evaluación y Reparación Estructural con Fibra de Carbono de la Superestructura del Puente La Capilla – moquegua*”, menciona en una de sus conclusiones que verifico que el reforzamiento con Fibra de Carbono es eficiente, ahorra tiempo en el proceso de reforzamiento fácil de instalar, económica en comparación con el reforzamiento con planchas de acero, con un costo de 2 a 3 veces menor, sustentando su conclusión con metrados y costos del proceso de reforzamiento con Fibra de Carbono.

Anteriores investigaciones mencionan que la aplicación de la fibra de carbono como reforzamiento es costoso; asociando el costo de su fabricación de la década del 80-90 al costo de aplicación. En el presente trabajo se demuestra que la aplicación de fibra de carbono como reforzamiento para las columnas de la galería, es 58.4% más económico que el reforzamiento de encamisado con acero y concreto.

4.2. CONCLUSIONES

4.2.1. Conclusión del objetivo Específico 1

En primera instancia, en relación con el objetivo 1, se concluyó que el análisis diamantino tipificado como ensayo destructivo es más exacto que otros análisis del tipo no destructivo, permitió con la extracción de tres muestras de concreto circulares conocer la resistencia actual del concreto en las columnas de la galería. Los valores obtenidos fueron respaldo para el uso de la resistencia de diseño en los análisis posteriores.

Tabla 72. Resistencia de columnas en la galería.

Identificación de la Muestra	Resistencia a la Compresión (Kg/cm ²)
Columna-1	281
Columna-2	189
Columna-3	282

Fuente: Elaboración propia

4.2.1. Conclusión del objetivo Específico 2

Respecto al objetivo 2 de analizar la estructura existente de la galería, se logró comprobar que, para las solicitaciones actuales de carga y desplazamiento, la edificación, no requiere de ninguna intervención ni reforzamiento, el concreto armado de la estructura se encuentra en servicio, tal como fue creada en la actualidad cumple su función y se encuentra dentro de las normas E030 y E060 del RNE. No obstante, para una futura ampliación es mandatorio reforzar la estructura.

4.3.1. Conclusión del objetivo Específico 3

Posteriormente, en cuanto al objetivo 3, se concluye que el presente estudio confirmó que la aplicación de fibra de carbono como reforzamiento aumenta la resistencia del concreto dependiendo del diseño de la columna, del gramaje de la fibra de carbono y el # de capas de CFRP que se aplique. Como lo muestra la siguiente tabla.

Si existe un aumento significativo entre las medidas de las Resistencias a la Compresión del grupo con el tratamiento respecto al grupo sin el tratamiento, por lo tanto, se concluye estadísticamente que con un nivel de significancia del 5%, el reforzamiento estructural con fibra de

carbono al segundo grupo de probetas aumentó significativamente la resistencia a la compresión con respecto al primer grupo donde no se aplicó el tratamiento.

Tabla 73. Columnas con nuevas solicitaciones reforzadas con CFRP

Tipo de Columna	Resistencia inicial Kg/cm ²	# Capas de CFRP	CFRP gr/m ²	Resistencia obtenida Kg/cm ²	Diferencia de Resistencia Kg/cm ²	Incremento % de resistencia
Circular	210	1	600	598.00	388.00	184.76
No Circular	210	5	300	372.82	162.82	77.53

Fuente: Elaboración propia

La tabla muestra que el reforzamiento para una columna circular reforzada con 1 capa de fibra de carbono de 600 gr/m² aumenta su resistencia en 184.76%, mientras que una columna no circular reforzada con 5 capas de fibra de carbono aumenta su resistencia en 77.53%.

4.1.1. Conclusión del objetivo Específico 4

Respecto al objetivo 4, identificar fallas potenciales, el análisis estructural concluyo que 8 columnas del sótano de la galería en el eje B, C, D y cuatro columnas del primer piso en el eje C y D deberán ser reforzadas para elevar su resistencia a las nuevas solicitaciones. Además de tener que rigidizar la estructura en los pisos 2, 3 y 4 para evitar los desplazamientos.

Tabla 74. Desplazamientos rigidizados.

NIVEL	h (m)	Desplazamiento Inicial		Desplazamiento Final	
		$\Delta x / h$	$\Delta y / h$	$\Delta x / h$	$\Delta y / h$
4	3.2	0.0053	0.0058	0.0035	0.0039
3	3.56	0.0081	0.0078	0.0062	0.0053
2	3.27	0.0098	0.0087	0.0061	0.0055
1	3.27	0.0069	0.0059	0.0052	0.0044
Sótano	2.77	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia.

Como se muestra en la tabla se concluye que la rigidización con perfiles de acero ASTM A-572 GR 50 – WF 10x45 elimina los desplazamientos.

Respecto a las nuevas resistencias requeridas por las columnas se concluyó que la aplicación de fibra de carbono aplicada con la resina epóxica aumenta la resistencia del concreto.

De igual forma la verificación del aumento de resistencia mediante el diagrama de interacción concluye que la fibra de carbono aplicada al concreto eleva la resistencia.

Si existe un aumento significativo entre las medias de las Resistencias a la Compresión antes y después del tratamiento, por lo tanto, se concluye estadísticamente que con un nivel de significancia del 5%, el reforzamiento estructural de las columnas con fibra de carbono aumentó significativamente la resistencia a la compresión de las columnas de la galería Fullmarket 2019, de hecho, las resistencias a la compresión en promedio aumentaron de 230.8750 toneladas a 361.3742 toneladas.

Concluyendo que la rigidización con perfiles de acero y el reforzamiento de las columnas con CFRP, solucionaron los nuevos requerimientos del proyecto.

4.1.1. Conclusión del objetivo Específico 5

Por último, respecto al objetivo 5, los costos evitados para el reforzamiento de la estructura concluye que el reforzamiento de las columnas con fibra de carbono es más económico que el reforzamiento con armadura de acero y concreto en S/. 30,855.81 soles, 58.4% de ahorro económico. Por otro lado en relación a la ejecución de los trabajos, son menos incómodos para los propietarios de la galería. Cabe mencionar que esta solución no elimina o excluye el reforzamiento convencional de acero concreto; en este caso la aplicación del CFRP es ideal para esta situación, porque reforzar las columnas con concreto acero haría que la galería pierda funcionalidad debido al mayor movimiento de materiales, equipos y la eliminación de material excedente, lo que se traduce en pérdidas de ventas y oportunidad para los propietarios.

5.1. RECOMENDACIONES

Se presentan las recomendaciones relacionadas a la presente investigación:

- En primera instancia se recomienda que antes del desarrollo de un proyecto de ampliación o remodelación se realice un análisis de la estructural para tener la certeza que el proyecto tendrá éxito. Las alternativas de solución para el proyecto se lograron evaluando e iterando hasta llegar a la solución más adecuada, por lo que se recomienda la evaluación de opciones.
- En segundo término, para lograr mayor economía en el reforzamiento con fibra de carbono, se recomienda en la medida de lo posible importarse del fabricante los materiales (resina y fibra de carbono) para evitar sobre costos. Tener en cuenta que la mezcla para la resina epóxica debe ser proporcionada por el fabricante, esto es generalmente de acuerdo con el formato de fibra de carbono a utilizar.
- Luego, es recomendable que el Reglamento Nacional de Edificaciones incluya en sus capítulos a la fibra de carbono como elemento de reforzamiento estructural y se pueda normar su uso.
- Es recomendable también el uso de fibra de carbono como reforzamiento cuando las condiciones lo ameriten, en este caso el uso de la fibra de carbono era los más conveniente porque además de solucionar la falta de resistencia de la estructura, evitaría ruidos, polvo, desmonte y acarreo de material que el tipo de reforzamiento concreto acero utiliza además de crear bulla e incomodidad.
- Se recomienda que la aplicación de fibra de carbono lo realice personal calificado. La programación del trabajo, la preparación del material, así como su aplicación obedecen a una serie de procedimientos en los cuales están incluidos los materiales y tipos de herramientas a utilizar. Es importante conocer los tiempos de secado de la resina epóxica, después de mezclado con su catalizador cuenta con poco tiempo de aplicación antes que se endurezca y no se pueda fundir al calentarla ya que es un polímero irreversible.

REFERENCIAS

- ABC Modular. (12 de 06 de 2019). *ABC*. Obtenido de La Fibra de Carbono: el futuro de la construcción modular: <https://abcm modular.com/tecnologia/fibra-de-carbono-construccion-modular>
- Acedemicos UchileFau. (2011). Obtenido de https://academicos.uchilefau.cl/texture__concrete_cracked_by_ivelt_resources-jpg/
- ADEPRIN. (15 de 01 de 2019). *Asociación para el desarrollo profesional Interdisciplinario*. Obtenido de Arquitectura: <https://www.adeprin.org/category/arquitectura/>
- Alarcón, A. (24 de 1 de 2003). *Estudio teórico-experimental sobre la reparación y refuerzo de puentes de dovelas con fibras de carbono*. Obtenido de <https://www.tesisenred.net/handle/10803/6153>
- Alario Catalá, E. (05 de 02 de 2012). *Fisuras de origen no estructural en elementos de hormigón (III)*. Obtenido de <https://enriquealario.com/fisuras-de-origen-no-estructural-en-elementos-de-hormigon-ii/>
- Alderton, M. (11 de 9 de 2018). *RedShift by Autodesk*. Obtenido de <https://www.autodesk.com/redshift/es/construccion-fibra-carbono/>
- Alegre, G. (2017). *Estudio de la influencia en la resistencia y ductibilidad de las fibras de carbono utilizadas como reforzamiento de vigas de concreto armado*. PONTIFICA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ. Lima, Perú: XXXXXXXX.
- Alves Gonzalez, J., & Lares Fernandez, P. (05 de 2011). *Análisis Dinámico de una Estructura Irregular empleado el programa de calculo estructural ETABS*. Obtenido de <https://docplayer.es/17824642-Republica-bolivariana-de-venezuela-universidad-nueva-esparta-facultad-de-ingenieria-escuela-de-ingenieria-civil.html>
- Angulo, W. (26 de 09 de 2017). *RPP: Economía*. (R. Noticias, Editor) Obtenido de Capeco: El 70% de viviendas en Lima son informales y vulnerables a un terremoto: <https://rpp.pe/economia/economia/capeco-el-70-de-viviendas-en-lima-son-construidas-sin-normas-tecnicas-noticia-1078934>

- Aquino, S. (2019). *Variación de la resistencia a la flexión de vigas de concreto armado reforzadas con láminas de fibras de carbono (CFRP)*. Cajamarca, Perú: Universidad Nacional de Cajamarca.
- Arias, Lopez, A. (2018). *Análisis comparativo de muros de mampostería reforzada con y sin fibra de carbono*.
- ARQHYS, R. (2012). *Concreto Armado*. Obtenido de <https://www.arqhys.com/arquitectura/concreto-armado.html>.
- Bazán, J. (2015). *Estudio experimental y numérico del comportamiento de flexión de vigas de concreto armado reforzadas con bandas de FRP*. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería .
- Biblus. (20 de 03 de 2017). *Analisis de precios: Como calcular el precio unitario de una partida*. Obtenido de <http://biblus.accasoftware.com/es/analisis-precios-como-calcular-el-precio-unitario-software-primus/>
- Calla Deza, L. (2017). *EVALUACIÓN Y REPARACIÓN ESTRUCTURAL CON FIBRA DE CARBONO DE LA SUPERESTRUCTURA DEL PUENTE LA CAPILLA - MOQUEGUA*. Moquegua.
- Castillo, R. (1 de 10 de 2010). *Uso de polímeros reforzados con fibras (FRP) como refuerzo externo de elementos de concreto de puentes en Costa Rica*. Obtenido de <http://www.lanamme.ucr.ac.cr/sitio-nuevo/images/puentes/para-web/puentes-fibras-de-carbono.pdf>
- Cementos Sol. (2013). *Manual de construcción*. Obtenido de <http://www.cementosol.com.pe/wp-content/Documentos/ManualesUnacem/MCons.pdf>
- CIGIR. (2009). *Patologías en las edificaciones*. Obtenido de http://chacao.gob.ve/eduriesgo/vulnerabilidad_archivos/04_patologias_en_las_edificaciones.pdf
- Clarke, J. L. (2003). Alternative Materials for the Reinforcement and Prestressing of Concrete. En C. J.L, *Alternative Materials for the Reinforcement and Prestressing of Concrete* (pág. 224). New York: Blackie Academic & Professional.

- Concepto Definicion. (2019). *Concetos y Definiciones para tus trabajos*. Obtenido de <https://conceptodefinicion.de/resistencia/>
- Contreras Rincón, J. R. (2011). *USO DE FIBRAS DE CARBONO COMO REFORZAMIENTO A CORTE EN VIGAS DE CONCRETO REFORZADO*. Tesis de Grado, Universidad De La Salle, Bogotá.
- DIDELCO. (07 de 2019). *DIDELCO Es Puro Hierro*. Obtenido de https://www.didelco.net/interna_producto?id=8414
- Diseños & Acabados Premiun SAC. (2016). *Reparacion y reforzamiento de estructuras*. Obtenido de http://www.acabadospremium.com/AP_Marcas_Mapei.aspx
- EcuRed. (2019). *Diseño Estructural*. Obtenido de https://www.ecured.cu/Dise%C3%B1o_estructural
- FIBRWRAP PERU. (10 de 06 de 2019). *FIBRWRAP Construction Perú - FYFE*. Obtenido de Historia: <http://www.fibradecarbono.com.pe/>
- Flores Baldeón, J. (2015). *Incremento de la Capacidad de Columnas de Concreto con la Adición de Confinamiento Externo con Mantas de Fibra de Carbono*. Lima Perú.
- Flores Tantalean, L. (2013). *Fibras de Carbono - Revistas PUCP.*, (pág. 48).
- Guaño Olmedo, M. (2018). *Estudio de la influencia de los sistemas de reforzamiento, mediante un análisis estructural, para mejorar la respuesta sismorresistente del edificio de la Contraloría General del Estado-Regional 1*.
- Helene, P., & Pereira, F. (09 de 2003). *Manual de rehabilitacion de estructuras de hormigon reparacion, refuerzos y proteccion*. Paulo Helene & Fernanda Pereira.
- Ho Bello & Martinez S.R.L. (2017). *Analisis Estructural*. Obtenido de <http://hobellomartinez.com/analisis-de-estructura.html>
- IMCYC. (07 de 2004). *Conceptos basicos del concreto*. Obtenido de Instituto Mexicano del cemento y del concreto: <http://www.imcyc.com/cyt/julio04/CONCEPTOS.pdf>
- Instituto Construir. (2005). *Reforzando edificaciones con fibra de carbono*. Obtenido de https://www.institutoconstruir.org/centrocivil/concreto%20armado/fibras_carbono.pdf

- Interempresas.net. (07 de 06 de 2016). *Arquitectura y construcción*. Obtenido de Cype y Sika analizan el cálculo y diseño de refuerzos con laminados de fibra de carbono: <http://www.interempresas.net/Construccion/Articulos/157822-Cype-y-Sika-analizan-el-calculo-y-diseno-de-refuerzos-con-laminados-de-fibra-de-carbono.html>
- Jacóme Villacres, P. (2016). *Determinación de las Técnicas de Reforzamiento para Mejorar el Desempeño Estructural de un Edificio Mixto*. Ambato Ecuador.
- Llanos, C. (2011). *Fibra de Carbono, Presente y Futuro de un Material revolucionario*. Obtenido de kimerius.com/.../Fibra+de+Carbono.+Presente+y+futuro+de+un+material+revoluci+ona...
- Mariano. (18 de 11 de 2011). Obtenido de <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/11/fibra-de-carbono.html>
- McCormac, J. (2010). *Analisis de Estructuras Metodos clásico y matricial*. Mexico: Alfaomega Grupo Editor S.A de C.V.
- McCormac, J., & Brown, R. (2011). *Diseño del concreto reforzado*. Mexico, D.F.: Alfaomega Grupo Editor.
- Miravete, A. (2001). *Hacia la Fibra de Carbono en la Construcción*. Obtenido de <http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/viewFile/352/400>
- Miravete, A., & Larrodé, E. (2007). *Elevadores; Principios e inovaciones*. Reverte.
- Moncayo, M., Rodriguez, J., Alcivar, Lopez, Soriano, & Villacis. (04 de 04 de 2016). *Las fibras de carbono como una alternativa para reforzamiento de estructuras*. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/467/46750927006.pdf>
- Morales, L. (3 de 12 de 2014). *Propiedades Mecanicas del Concreto*. Obtenido de https://es.slideshare.net/LuisMorales94/propiedades-mecanicas-del-concreto?from_action=save
- Núñez, L. (28 de 05 de 2019). *Mercado: Inteligencia de Negocios*. Obtenido de Sistema de refuerzo de estructura de concreto con fibra de carbono, tu aliado en construcción: <https://www.revistamercado.do/sistema-de-refuerzo-de-estructura-de-concreto-con-fibra-de-carbono-tu-aliado-en-construccion/>

- Ojeda, M. (18 de 11 de 2011). *Tecnología de los plásticos*. Obtenido de <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/11/fibra-de-carbono.html>
- Ottazzi, G. (2014). *Diseño en concreto armado*. Lima, Perú: Asociación Capítulo Peruano del Instituto Americano del Concreto.
- Parra, C., Martínez-Conesa, E., Valcuende, M., & Garrido, A. (5-6 de 2012). Análisis de métodos para evaluar el refuerzo a esfuerzo cortante con CFRP en vigas de hormigón armado. *Informes de la Construcción*, Vol., 64 526, 197-206 ISSN: 0020-0883. Obtenido de Análisis de métodos para evaluar el refuerzo cortante con CFRP en vigas de hormigón armado: informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/.../2489
- Patiño, O., & Méndez, R. (2019). *Control de Calidad del Concreto (Normas, pruebas y cartas de Control)*.
- Porto Quintian, J. M. (2005). *Manual de patologías en las estructuras de hormigón armado*. La Coruña.
- Printerest. (2010). Obtenido de <https://www.pinterest.com/pin/747456869378951799/?lp=true>
- RNE. (2014). *Reglamento Nacional de Edificaciones*. Lima, Perú: Editorial Grupo Universitario.
- Saravia Ramirez, L. (2013). *Análisis y Diseño con ETBAS, su aplicación adecuada y comparación de resultados, aplicado a edificios de concreto armado*. Guatemala.
- Sassani, E. (22 de 05 de 2017). *Concreto una breve exploración*. Obtenido de <https://estudiosassani.wordpress.com/2017/05/22/concreto-una-breve-exploracion/>
- Silva, P. (2016). *Refuerzo Estructural con Fibra de Carbono*. Universidad San Francisco de Quito . Quito, Ecuador: Universidad San Francisco de Quito.
- Solecio De la Presa, M. (1984). *Algunas consideraciones sobre el origen de los terminos hormigon y concreto*.

- Vargas Maturana, J. (2012). *A PROPÓSITO DE LA RESISTENCIA COMO PROPUESTA TEÓRICA DEL ESTUDIO HISTÓRICO*. Obtenido de <http://www.ubiobio.cl/miweb/webfile/media/222/Tiempo/2012/%2328.01.pdf>
- VDocument. (15 de 11 de 2015). *VDocument*. Obtenido de <https://vdocuments.site/reforzamiento-con-fibras.html>
- Vega Vargas, C. (2015). *Comportamiento dinámico de muros de mampostería no estructural reforzados mediante polímeros reforzados con fibra de carbono, CFRP*. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garabito.
- Villarreal Castro, G. (07 de 2009). *Análisis Estructural*. Obtenido de <http://blog.pucp.edu.pe/blog/wp-content/uploads/sites/109/2009/09/ZLibro-Analisis-Estructural-GV.pdf>
- Yagual Quimi, D. (6 de 10 de 2014). *Reforzamientos de Estructuras*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/dussanyagual/reforzamientos-de-estructuras>
- Zambrano Rojas, K. (2017). *Comparación de los ensayos de diamantina y esclerometría de la pavimentación de los Jirones Japón, Portugal, y Brasil - Cajamarca*. Obtenido de <http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/1003/Tesis%20-Zambrano%20Rojas%20Katherine.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ANEXOS

Matriz de Consistencia

Problema General	Objetivo General	Hipótesis	Variables	Dimensiones e indicadores	Metodología	Instrumento
<p>¿De qué manera el reforzamiento estructural con fibra de carbono (CFRP) aumenta la resistencia a la compresión de las columnas y cual es el impacto económico que genera el reforzamiento de estas en la galería comercial Fullmarket, 2019?</p> <p>a. ¿Cuál es la resistencia actual del concreto de aplicarse la prueba de Diamantina en la galería comercial Fullmarket, 2019?</p> <p>b. ¿Cuál es la funcionalidad actual de la edificación basado en un análisis estructural según el RNE en cuanto a sus cargas y desplazamientos en la galería comercial Fullmarket, 2019?</p> <p>c. ¿Cuál es el diseño de refuerzos mediante la aplicación de Fibra de Carbono (CFRP) en las columnas de la galería Fullmarket, 2019?</p> <p>d. ¿Cuál son las fallas potenciales basado en el análisis estructural ante la ampliación de dos niveles adicionales en la galería comercial Fullmarket, 2019?</p> <p>e. ¿Cuál es el impacto económico del reforzamiento de las columnas con Fibra de Carbono (CFRP) de la galería comercial Fullmarket, 2019?</p>	<p>Determinar de qué manera el reforzamiento estructural con fibra de carbono (CFRP) aumenta la resistencia a la compresión de las columnas y genera ahorro económico en la galería comercial Fullmarket, 2019</p> <p>a. Determinar la resistencia actual del concreto mediante prueba de Diamantina en la galería comercial Fullmarket, 2019.</p> <p>b. Identificar mediante un análisis estructural la funcionalidad actual de acuerdo con el RNE en cuanto a sus cargas y desplazamientos en la galería comercial Fullmarket, 2019.</p> <p>c. Diseñar los refuerzos con la aplicación de la Fibra de Carbono (CFRP) en las columnas de la galería Fullmarket, 2019.</p> <p>d. Identificar mediante un análisis estructural las fallas potenciales ante la ampliación de dos niveles adicional en la estructura de la galería comercial Fullmarket, 2019.</p> <p>e. Determinar el impacto económico del reforzamiento de columnas con Fibra de Carbono (CFRP) de la galería comercial Fullmarket, 2019.</p>	<p>El reforzamiento estructural con fibra de carbono (CFRP) sí aumenta la resistencia a la compresión de las columnas en la galería comercial Fullmarket, 2019</p> <p>a. La resistencia del concreto actual es determinada adecuadamente mediante la prueba diamantina en la galería comercial Fullmarket, 2019.</p> <p>b. La resistencia de la estructura actual mediante el análisis estructural sí cumple con su funcionalidad de acuerdo con el RNE en cuanto a sus cargas y desplazamientos en la galería comercial Fullmarket, 2019.</p> <p>c. El diseño de refuerzos mediante la aplicación de la Fibra de Carbono (CFRP) es adecuado para las columnas de la galería Fullmarket, 2019.</p> <p>d. Existen fallas potenciales ante la ampliación de dos niveles adicionales según el análisis estructural realizado en la galería comercial Fullmarket, 2019.</p> <p>e. Existe un impacto económico positivo del reforzamiento con Fibra de Carbono (CFRP) en la galería comercial Fullmarket, 2019.</p>	<p>Independiente</p> <p>Reforzamiento estructural con fibra de carbono (CFRP)</p> <p>Dependiente</p> <p>Resistencia a la compresión de las columnas.</p>	<p>Reforzamiento (kg/cm²)</p> <p>N° de capas (CFRP)</p> <p>Capacidad de flexo-compresión</p> <p>Costos por sistema de reforzamiento</p>	<p>Población</p> <p>Está constituida por las columnas de concreto del sótano de la galería comercial Fullmarket.</p> <p>Muestra</p> <p>Está constituida por 3 columnas de concreto del sótano de la galería comercial Fullmarket.</p> <p>Tipo de investigación</p> <p>Cuantitativa, aplicada, descriptivo.</p> <p>Diseño de investigación</p> <p>El diseño es experimental (diseño experimental con postprueba únicamente y grupo de control), corte transversal.</p>	<p>Pruebas de laboratorio.</p> <p>Registro de observación directa.</p> <p>Memoria de cálculo y descriptiva.</p>