

“REFORZAMIENTO SÍSMICO DE ESTRUCTURAS CON PARABOLOIDES HIPERBÓLICOS APLICANDO EL NEC -11”

César Bolívar Arciniegas M., Johann Javier Fuentes M.², Dr. Ing. Roberto Aguiar Falconi ³,

Ing. Ana Gabriela Haro⁴

¹Escuela Politécnica del Ejército. Ecuador, ing-cbam3@hotmail.com

²Escuela Politécnica del Ejército. Ecuador, johannjavier_15.5@hotmail.com

³Escuela Politécnica del Ejército. Ecuador, rrequiar@espe.edu.ec

⁴Escuela Politécnica del Ejército. Ecuador, agharo77@gmail.com

1. RESUMEN

Este proyecto de tesis presenta el análisis sísmico de estructuras con paraboloides hiperbólicos, las mismas que están construidas por columnas cruz y cubierta parabólica; y se usa la normativa y espectro de diseño del NEC-11, código de construcción vigente en el país. En la modelación de los pórticos se presenta la aplicación de elementos finitos lineales y elementos finitos cuadriláteros.

Además se analizan los paraboloides por cargas de servicio y ante la acción de cargas sísmicas horizontales y verticales, el proceso de cálculo con ejemplos aplicativos, la vulnerabilidad de la estructura, la propuesta de reforzamiento para cada caso referenciado, el estudio de plintos y finalmente planos de los elementos a reforzar.

Palabras Claves: REFORZAMIENTO SISMICO ESTRUCTURAS, REFORZAMIENTO PARABOLOIDES HIPERBOLICOS, PARABOLOIDES HIPERBOLICOS NEC-11, REFORZAMIENTO ESTRUCTURAS NEC-11

2. ABSTRACT

This thesis Project presents a seismic analysis of structures with hyperbolic parabolic constructions, those are built with cross columns and a parabolic cover; it uses the norm and the spectrum of NEC-11, the actual construction code in this country. At the modeling of the porticos we present the application of Lineal finite element and a quadrangular finite element

Also the analysis of parabolic construction with service loads and seismic action like horizontal or vertical way, the analysis process are with applicative examples, the structure vulnerability, and a suggestion for each reinforcement case, the plinth study an finally all the reinforcement drawing plans of each element.

Keywords: REFORZAMIENTO SISMICO ESTRUCTURAS, REFORZAMIENTO PARABOLOIDES HIPERBOLICOS, PARABOLOIDES HIPERBOLICOS NEC-11, REFORZAMIENTO ESTRUCTURAS NEC-11

3. INTRODUCCION:



El propósito de esta investigación ha sido conocer el comportamiento que tienen las estructuras ante la acción sísmica, que en este caso, se emplea la Normativa Ecuatoriana de la construcción actual que es el NEC-11, con el análisis del espectro de

diseño inelástico; para estructuras con cubiertas tipo paraboloides hiperbólicos del Colegio “Fernández Madrid”, y semejantes a estas. Se han estudiado varias estructuras, cuyos resultados solo han sido analizados mas no se ha resuelto los diferentes problemas inmersos, y en este trabajo se propone las diferentes soluciones haciendo referencia al reforzamiento sísmico de estas estructuras, a fin de prever, que ante un terremoto la estructura no sufra daños mayores, y lo más importante salvaguardar la integridad de las personas.

El reforzamiento estructural, de acuerdo al método empleado, mejora las características de los elementos estructurales en su rigidez, capacidad de carga, ductilidad y propiedades de amortiguamiento; de tal manera que cada estructura tiene su vulnerabilidad sísmica, y este trabajo se enfoca a que se use el reforzamiento sísmico en estructuras que ante un eventual sismo colapsarían.

4. DESARROLLO:

4.1 METODOLOGIA

En caso de suceder un mega sismo en el Ecuador como el de Chile del 2010 se presume que más del 70% de las estructuras en Quito no tendrán una buena respuesta ante una acción sísmica, por lo que es importante iniciar el estudio y aplicación de reforzamiento de estructuras para prevenir serios problemas.

En la ESPE, se ha trabajado mucho en peligrosidad y vulnerabilidad sísmica, en reforzamiento sísmico apenas toma iniciativa sus estudios, por este motivo se presenta esta tesis que va orientada al reforzamiento de Paraboloides Hiperbólicos del Colegio Fernández Madrid y cuyos resultados generales pueden ser aplicados a cualquier tipo de edificación.

La tarea es grande debido a que se debe reforzar sísmicamente un gran número de estructuras construidas en Ecuador, el desarrollo de esta tesis será un aporte primordial para establecer formatos de reforzamiento aplicables prácticamente.

El análisis se clasifica en los siguientes bloques de Estructuras tipo Paraboloides Hiperbólicos del Colegio Municipal Fernández Madrid que se muestra en la siguiente figura:

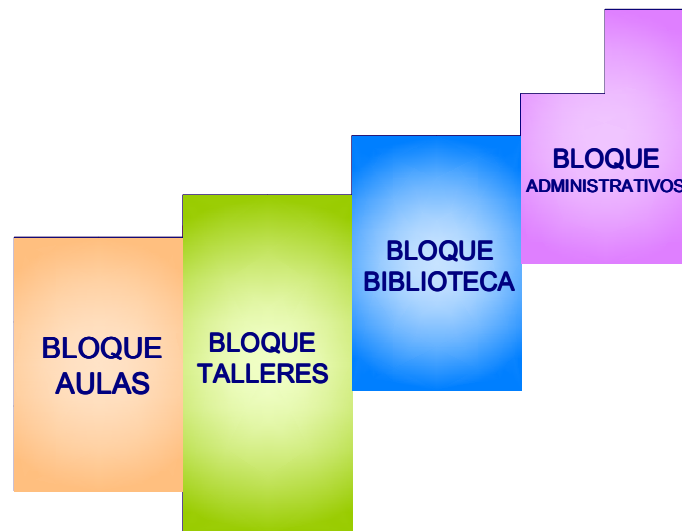


Figura: Clasificación de Bloques Analizados

Se aplicaron dos metodologías de cálculo que son los elementos finitos lineales y los elementos finitos tipo Q-4. Dada la tipología de la estructura en la que se trata de columnas tipo cruz, se transforma a una sección equivalente rectangular como se muestra en la siguiente figura.

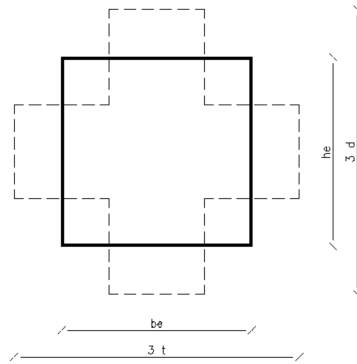


Figura: Sección equivalente utilizada para columna

Para los elementos finitos tipo Q-4, este tipo de elemento finito el trabajo resulta más factible usar en columnas mas no en elementos tipo viga ni en los paraboloides ya que el ensamblaje de matrices tiene un alto grado de dificultad y para aplicación práctica no conviene, es por ello que se emplea el siguiente esquema para columnas:

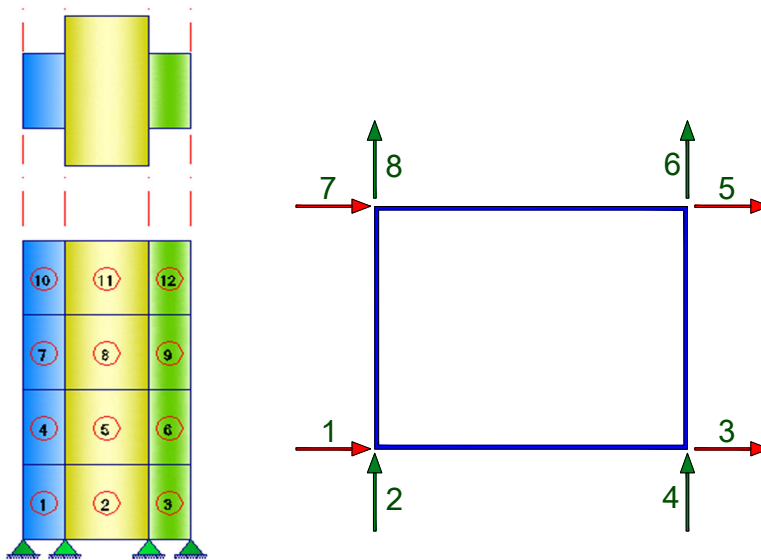


Figura: Aplicación elemento finito Q-4 para columnas tipo cruz

Los elementos finitos lineales y tipo Q-4 se aplicaron a los elementos tipo viga, y para la cubierta tipo paraboloide hiperbólico, cuyos resultados del análisis sísmico se

muestran en la siguiente tabla, para el análisis en planta o análisis horizontal (Ver Anexo 1):

Tabla: Resultados de análisis sísmico en los bloques analizados sin reforzar

| BLOQUE ESTRUCTURAL | PORTICO | ANÁLISIS SENTIDO X | | |
|----------------------------|---------|--------------------------|----------------------------|-------------------|
| | | PERIODO FUNDAMENTAL(Seg) | DESPLAZAMIENTO MAXIMO (cm) | DERIVA MÁXIMA (%) |
| AULAS | F | 0,4079 | 6,4 | 1.391 |
| | J | 0,4667 | 9,25 | 2.011 |
| | B | 0,2523 | 3,74 | 0,813 |
| TALLERES | A,D,H | 0,4589 | 11,12 | 1.209 |
| | L | 0,3965 | 11,96 | 1,3 |
| BIBLIOTECA ADMINISTRATIVOS | G,K,O | 0,477 | 14,41 | 2,06 |
| | M,P | | | |

| PORTICO | ANÁLISIS SENTIDO Y | | |
|---------|--------------------------|----------------------------|-------------------|
| | PERIODO FUNDAMENTAL(Seg) | DESPLAZAMIENTO MAXIMO (cm) | DERIVA MÁXIMA (%) |
| 2 | 0,4079 | 6,4 | 1.391 |
| 4 | 0,3609 | 8,3 | 1.804 |
| | | | |
| 6 | 0,2968 | 6,44 | 1.288 |
| 8 | 0,3307 | 10,11 | 1,09 |

De esta manera la primicia de diseño es controlar las derivas máximas elásticas de entrepiso que establece el NEC-11 y se debe comprobar que si la estructura presentará deformaciones inelásticas controlables, mejorando substancialmente el diseño conceptual. Por lo tanto, los límites a las derivas de entrepiso inelásticas máximas, Δ_M , se presentan en la Tabla siguiente, los cuales deben satisfacerse en todas las columnas de los paraboloides.

| Tipo de estructura | Δ_M máxima |
|---|-------------------|
| De hormigón armado, metálicas y de madera | 0,020 |

A continuación se presenta la metodología empleada para generar el reforzamiento sísmico de la estructura:

- Se realiza un levantamiento de todos los bloques, que intervengan en el cálculo estructural.
- Se recopila información que verifiquen el levantamiento realizado, además de que provea de las características de los materiales con las que fueron construidas.
- Se ejecuta el análisis sísmico empleando el mismo criterio de elementos finitos lineales y elementos finitos Q-4.
- El reforzamiento que se emplea es la siguiente:

Tabla: Reforzamientos usados en los elementos estructurales

| | |
|---------------------------|--|
| Columnas Tipo Cruz | Encamisado con placas de acero y anclaje con pernos hilti |
| Vigas | Placas de acero y colocación de fibras de Carbono y Colocación de perfil IPE |
| Paraboloides Hiperbólicos | Placas de acero y fibras de carbono en los nudos |
| Losa plana | Colocación de fibras de carbono y perfiles IPE |
| Plintos | Aumento de sección de hormigón armado con anclaje y pernos hilti |

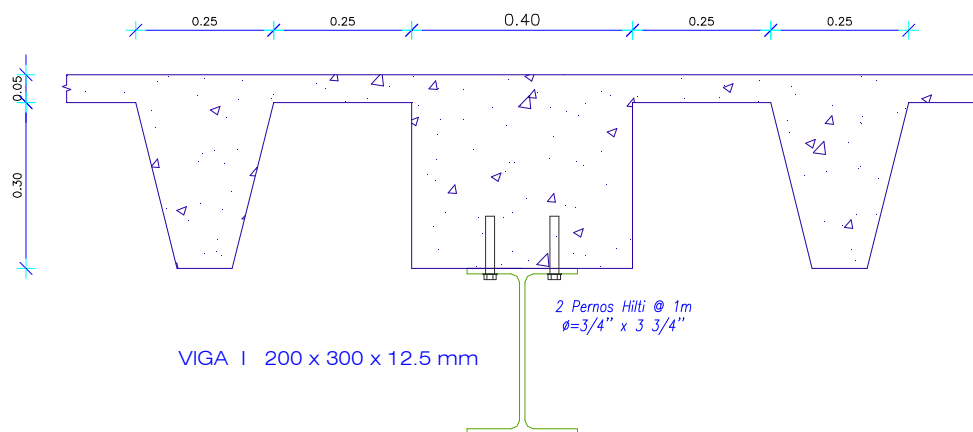


Figura: Reforzamiento en Vigas y Losa Plana

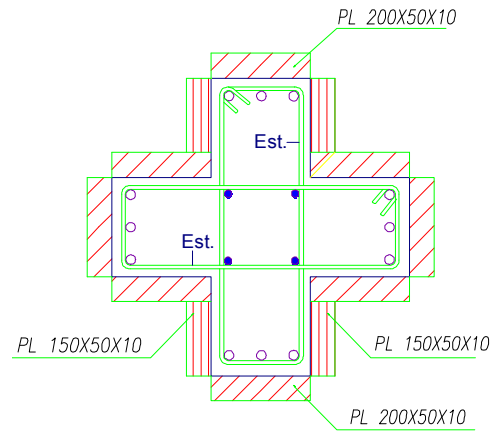


Figura: Reforzamiento en Columnas

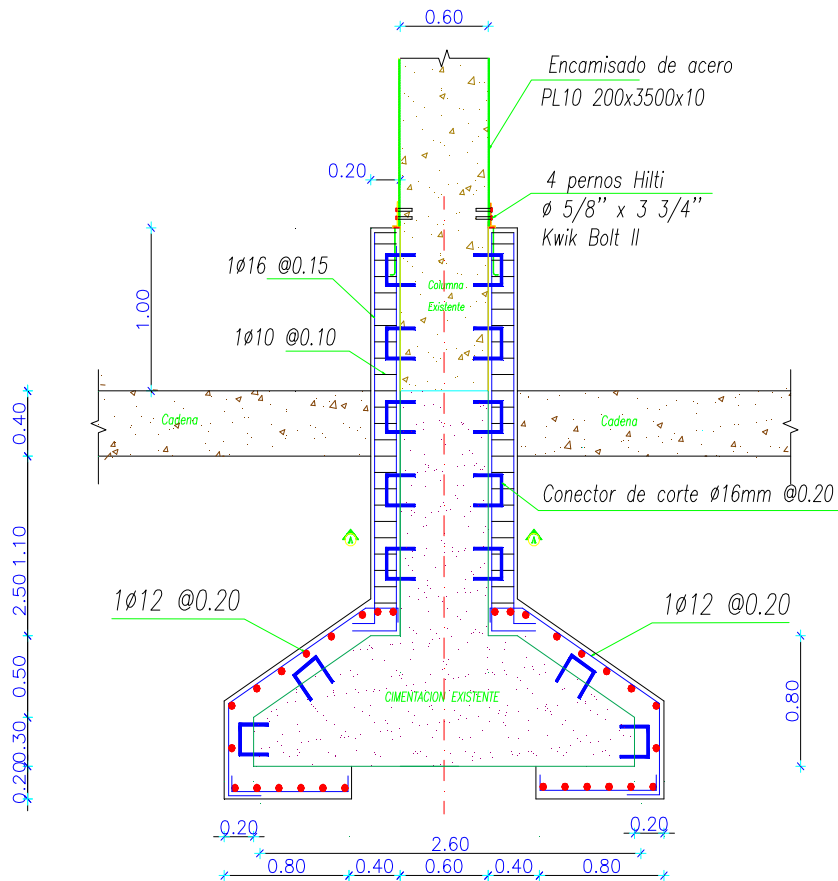


Figura: Reforzamiento en Plintos

- Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente Tabla:

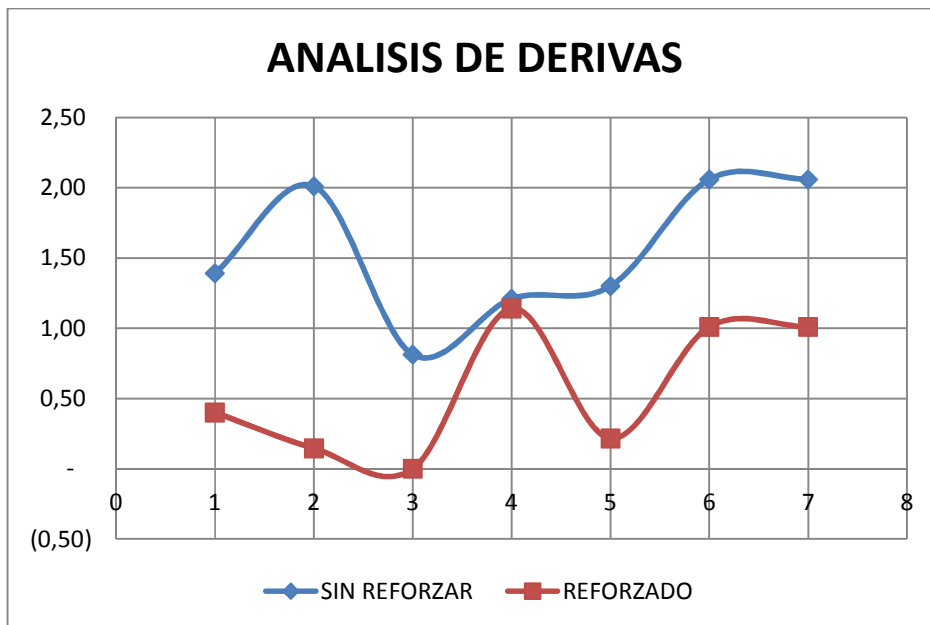
Tabla: Resultados de análisis sísmico en los bloques analizados reforzados

| BLOQUE ESTRUCTURAL | PORTICO | ANALISIS SENTIDO X | | |
|----------------------------|--------------|---------------------------|----------------------------|-------------------|
| | | PERIODO FUNDAMENTAL (Seg) | DESPLAZAMIENTO MAXIMO (cm) | DERIVA MÁXIMA (%) |
| AULAS | <i>F</i> | <i>0,1937</i> | <i>1,8</i> | <i>0,4</i> |
| | <i>J</i> | <i>0,2119</i> | <i>0,67</i> | <i>0,146</i> |
| | <i>B</i> | | | |
| TALLERES | <i>A,D,H</i> | <i>0,375</i> | <i>10,5</i> | <i>1,14</i> |
| | <i>L</i> | <i>0,3801</i> | <i>1,99</i> | <i>0,216</i> |
| BIBLIOTECA ADMINISTRATIVOS | <i>G,K,O</i> | <i>0,3305</i> | <i>7,07</i> | <i>1,01</i> |
| | <i>M,P</i> | | | |

| PORTICO | ANALISIS SENTIDO Y | | |
|----------|---------------------------|----------------------------|-------------------|
| | PERIODO FUNDAMENTAL (Seg) | DESPLAZAMIENTO MAXIMO (cm) | DERIVA MÁXIMA (%) |
| <i>2</i> | <i>0,1937</i> | <i>1,8</i> | <i>0,4</i> |
| <i>4</i> | <i>0,1832</i> | <i>0,6</i> | <i>0,13</i> |
| <i>6</i> | <i>0,267</i> | <i>1,6</i> | <i>0,32</i> |
| <i>8</i> | <i>0,3</i> | <i>8,26</i> | <i>0,9</i> |

- La relación de este análisis se evidencia en la siguiente grafica

| Orden | PORTICO | Deriva Sin Reforzar | Derivas Reforzado |
|----------|------------------|---------------------|-------------------|
| <i>1</i> | <i>P - F</i> | <i>1,39</i> | <i>0,40</i> |
| <i>2</i> | <i>P - J</i> | <i>2,01</i> | <i>0,15</i> |
| <i>3</i> | <i>P - B</i> | <i>0,81</i> | <i>-</i> |
| <i>4</i> | <i>P - A,D,H</i> | <i>1,21</i> | <i>1,14</i> |
| <i>5</i> | <i>P - L</i> | <i>1,30</i> | <i>0,22</i> |
| <i>6</i> | <i>P - G,K,O</i> | <i>2,06</i> | <i>1,01</i> |
| <i>7</i> | <i>P - M,P</i> | <i>2,06</i> | <i>1,01</i> |



5. CONCLUSIONES:

- Dos de los 4 bloques Paraboloides analizados son sumamente vulnerables por presencia de rajaduras en losa, si no se refuerza con sismo de magnitud intermedia pueden colapsar.
- En el análisis se derivas globales y de piso, se observa que al reforzar la estructura estas disminuyen considerablemente.
- En el análisis de nudos, en el encamisado de la columna cruz, a más de confinar el hormigón, aumenta la capacidad al corte solucionando el problema de corte horizontal existente.
- El uso de placas metálicas y fibra de carbono en el nudo del paraboloides soluciona el momento volcador y los esfuerzos cortantes que se presentan.
- Las constantes modificaciones internas de los bloques paraboloides han causado problemas estructurales como es el problema de columna corta, aumento de cargas.

- Se comprueba que se necesita reforzar los bloques analizados, por ser una construcción antigua con más de 40 años de vida útil y por la seguridad de las personas que los ocupan.

6. BIBLIOGRAFIA:

1. Aguiar R. (2004). *Análisis Matricial de Estructuras*. Quito. Escuela Politécnica del Ejército. 3ra Edición.
2. Soto Rodríguez H. (2000). México. *Diseño de Estructuras Metálicas*. 1ra Edición, Volumen I.
3. Aguiar R. (2007). *Dinámica de Estructuras con MatLab*. Quito. Escuela Politécnica del Ejército. 1ra Edición.
4. Newman A. (2001). *Structural Renovation of Buildings*. New York. The McGraw-Hill Companies.
5. Aguiar R. (2008). *Análisis Sísmico de Edificios*. Quito. Escuela Politécnica del Ejército. 1ra Edición.
6. Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC – 11. (2011). *Peligro Sísmico y Requisitos de Diseño Sismo resistente*. Quito.
7. Espeche A. (2007). *Refuerzo de pilares con encamisado de hormigón solicitados a axil Centrado*. Madrid. Universidad Politécnica de Madrid.
8. Anotaciones Noveno nivel de Ingeniería Civil, Escuela Politécnica del Ejército. (2012). *Apuntes de clase Análisis Sísmico de Estructuras*. Quito.
9. Teixeira J. (S.F). *Diseño de nodos Viga-Columna en pórticos de concreto estructural*. Caracas. Universidad Católica Andrés Bello.
10. ACI-ASCE Committee 352. (1985). *Recommendations for Design of Beam-Column Joints in Monolithic Concrete Structures (ACI 352R-85)*. American Concrete Institute. USA.

ANEXO Nro. 1

Se presentan los pórticos con sus respectivos ejes, en donde se hace el análisis sísmico:

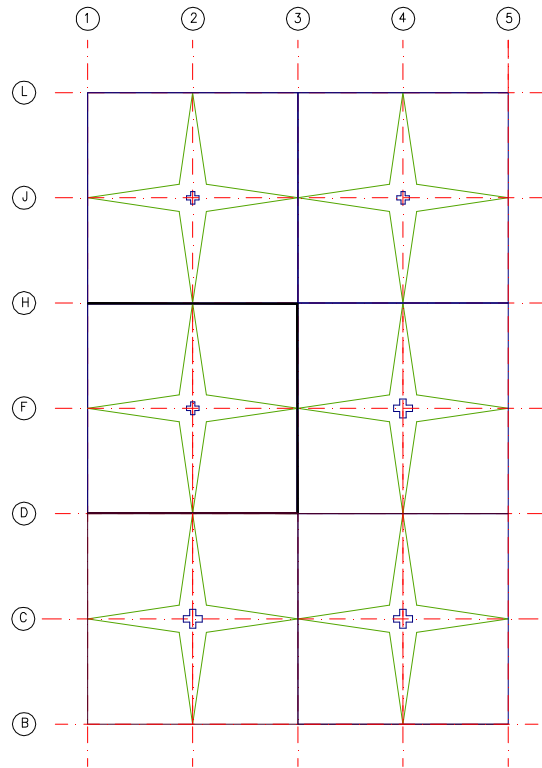


Figura. Implantación Bloque Aulas

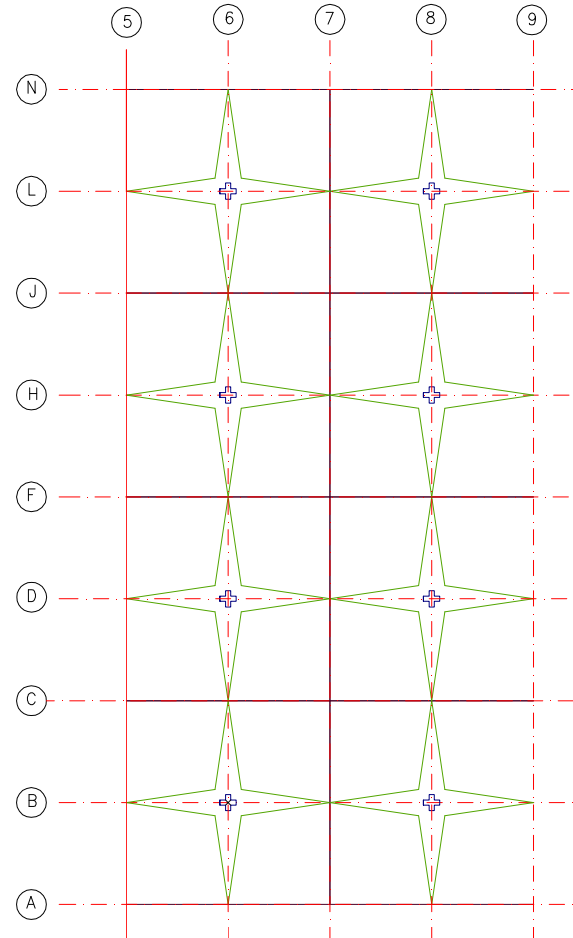


Figura. Implantación Bloque Talleres