ANÁLISIS DE LA OBRA

Tipología Estructural Empleada

- Pórtico con vigas simplemente apoyadas, a semejanza de un pórtico con paredes armadas (dual system). Los tableros se apoyan simplemente en las pilas y los muros son parte de los estribos lo que hace que el sistema sea isostático.

Detalle Geométrico de la Obra en Estudio

- **Infraestructura:**

  Cinco tramos sobre cuatro pilas irregulares de tres pilares c/u, con aproches confinados con muros laterales de hormigón armado.

- **Superestructura:**

  Tableros de 11 Vigas tipo I, Presforzadas de Aprox 37.76 m de largo y 1.38 m de peralte, dejando una fuga en las alas inferiores de 10 cm, dando un ancho total de 11.34 m para 3 carriles.

TABLERO

AV. DE LAS AMÉRICAS Y LOS RIOS

AV. DE LAS AMÉRICAS CON LA AV. QUITO

AV. DE LAS AMÉRICAS CON LA CALLE ESMERALDA

3.3. Análisis y Evaluación de Deflexiones y Posibles Niveles de Presfuerzo

Obtención de flecha elástica máxima para 1 viga:

Longitud del claro = L = 37.76 m
Módulo Elástico = $2.1 * 10^6$ Kgf / cm^2
Area de la sección de una viga tipo (aprox.) = 0.87 m^2.
Inercia de la sección = 0.24 m^4
Peso volumétrico del hormigón = 2.4 Ton / m^3.
Carga muerta = w_D = Peso propio viga + sobrecarga.
Peso / m^2 de asfalto = 0.11 Ton / m^2.
w_D = 0.8708*2.4 + 1 * 0.11 = 2.2 Ton / ml
(Figura 3.2 y Foto 3.1)

Deflexión Máxima Elástica Esperada :

$$\delta = \frac{5*2.2*37.76^4}{384*2.1*10^6*0.2409} = 0.115m$$

RESULTADO DEL LEVANTAMIENTO :

- La deflexión permanente en sitio es de 18.4 cm en el centro del claro más largo.

- Cabe recalcar que las vigas no presentaron fisurasión, lo cual sugiere claramente que las vigas no están en un estado avanzado de plasticidad, pero en todo caso ya rebasaron el valor de flecha elástica admisible para las condiciones de carga existentes.

Causas de las Deflexiones:

La edad de los pasos elevados.

- Pérdidas que se acentúan a lo largo del tiempo:
  - Pérdida de la fuerza Fo de tensión.
  - Deformación Plástica del Concreto
- Criterios de Diseño de la época no contemplaron posiblemente:
  - La Saturación Vehicular, fruto del crecimiento acelerado de la ciudad.

Causas de las Deflexiones:

Cont...

La rigidez del tablero.

- La inercia del tablero está proporcionada casi en su totalidad por las vigas (T invertida).
- La contribución de la losa superior es menor en comparación con la de las vigas.
- La rigidez a la flexión está determinada por el módulo de elasticidad de los materiales y por la Inercia de la sección transversal de las vigas.

Causas de las Deflexiones:

Cont...

- La Inercia depende mucho más de la altura que de la base de las vigas.
- Valores pequeños de inercia resultan en deflexiones considerables.
- La relación altura / base es cercana a 1, cuando lo que se considera normal son valores próximos a 2 en términos de relaciones de rigidez.

Causas de las Deflexiones:

Cont...

Este diseño hubiese sido válido sí y solo sí:

- El adosamiento de las vigas proporcionaría una rigidez suficiente por el número de las vigas antes que por la altura de las mismas.
- La transferencia de cargas entre vigas fuera efectiva.
- El tráfico sobre el paso elevado permaneciera en los valores de proyecto

Causas de las Deflexiones:

Cont...

- En este caso éstas últimas condiciones no se cumplen, por las siguientes razones:
  - Inefectividad de los diafragmas (volúmenes pequeños).
  - Ausencia de transferencia de cargas a las vigas laterales.
  - El número de líneas de diafragmas.

Diagnóstico de la Peligrosidad

- La presencia de flechas considerables constituye un problema funcional que de no ser tratado a tiempo se puede convertir en un problema estructural.
- El control de deflexiones es necesario.
- Para claros simples o continuos, la deflexión debida a la carga viva más el impacto no debe sobrepasar 1/800 del claro.
- Para vigas de 30 metros de longitud, este valor corresponde a 3,75 centímetros.

Diagnóstico de la Peligrosidad

Cont...

- Lo más conveniente es la recuperación de flechas a fin de introducir sus valores en el rango considerado admisible por las normas internacionales vigentes, pero no por considerar que dichas flechas constituyan un peligro para la estructura en si.

Diagnóstico de la Peligrosidad

Cont...

- La recuperación de las flechas se traduce en incremento de resistencia de las vigas y por tanto en la capacidad actual de los pasos elevados.
- Así mismo se traducirá en una mayor comodidad para los conductores que usan estos traficados pasos.
- Todas estas consideraciones justifican el trabajo de recuperación de las flechas.

3.4. Justificación de Ensayos

- La dificultad que presenta el ensayar la viga in situ.
- Altos costos que hubiesen generado.
- Facilidad de repetición de los ensayos, en elementos más manejables.

Paso a desnivel Av. Américas - Calle Los Ríos

Justificación de Ensayos

- Como solución a estos inconvenientes, se decidió trabajar con elementos prefabricados proporcionados por la empresa PRECRETO S.A. del Grupo La Cemento Nacional de Guayaquil.

Justificación de Ensayos

Cont...

- Esta propuesta brindará una idea más amplia del comportamiento de los diferentes elementos y secciones de hormigón frente a cargas impuestas y la posibilidad de recuperación de resistencia y deflexión.

Justificación de Ensayos

Cont...

- Permitirá asímismo la inferencia en otro tipo de secciones y elementos y por tanto la generalización del comportamiento de cualquier otro tipo de estructura de hormigón armado y presforzado.

3.5. Detalle Geométrico de los Elementos a Ensayar

Descripción Geométrica:

- Longitud = 7.2 metros,
- Peralte = 30 cm
- Ancho superior = 12.5 cm.
- Ancho inferior = 8 cm.
- f'c = 420 Kg/cm^2
- 1 Torón superior ϕ = 6 mm
- Fpu = 250 Ksi, Fo= 2780 Kg.

Detalle Geométrico de los Elementos a Ensayar

Cont...

- 2 Torones inferiores c/u $\phi = 10$ mm
- Fpu = 270 Ksi, Fo= 7280 Kg.
- 1 varilla $\phi = 16$ mm x 6 m.
- Armadura de cortante $\phi = 5.2$ mm, Fy = 2800 Kg/cm^2
- Espaciamiento para cortante @ c/15 en el 1er metro y @ c/20 en los siguiente metros, a excepción del metro central en que no existe mayor acción de cortante. **(Ver fig. 3.3)**

Cálculo teórico de deflexiones en elementos

- A = Área de la sección, = Coordenada vertical del centroide
- I = Momento de inercia con respecto al eje X.,
- r = Radio de Giro.
- Asimismo, es posible calcular la carga muerta por u. de longitud = w_l :

Cálculo teórico de deflexiones en elementos

$$w_{pp} = A_c * \gamma_{hormigón} = 0.03075 * 2.4T/m^3 = 0.0738T/m$$

$$w_l = \frac{6.8}{2*7.2} = 0.4722T/m$$

$$l = 7.20m$$

$$I = 31287.075cm^4$$

$$E = 15100\sqrt{f'c} = 309451.91Kg/cm^2$$

Fórmula deflexión máxima

$$\Delta = \frac{5w_T l^4}{384 * E * I} = \frac{5 * (4.722 + 0.738) * 720^4}{384 * 309451.91 * 31287.075} = 1.97cm$$

- dirigida hacia abajo.

Cálculo de la capacidad de carga de la viga:

- **Fórmula general para hallar los esfuerzos en la viga.**

$$\frac{F_e}{A}+\frac{\omega_{PP}*l^2*c}{8*I}-\frac{F_{ei}*e*c}{I}+\frac{\omega\ *l^2*c}{8*I}\leq 0.45*f'c,$$

$$\frac{F_e}{A}-\frac{\omega_{PP}*l^2*c}{8*I}+\frac{F_{ei}*e*c}{I}-\frac{\omega\ *l^2*c}{8*I}\geq -1.6*\sqrt{f'c}$$

Cálculo de la capacidad de carga de la viga:

- Según la teoría de esfuerzos admisibles, la viga en estudio sometida a flexión tiene lo siguiente:

a) Esfuerzos de compresión, considerando una pérdida en el presfuerzo global del 5 %.

b) Debido a peso propio.

Cálculo de la capacidad de carga de la viga:

c) Debido a camber o excentricidades (cables superior e inferiores)

d) Debido a sobrecarga

e) Límite de esfuerzo de compresión (0.45 x f'c) y tensión (1.6 x $f'c^{0.5}$).

Código A.C.I. Cap 18.4.2. a y b

Fibra Superior (Tons – m)

$$\frac{0.95*17.34}{0.3075}+\frac{0.0707*7.2^2*0.139}{8*0.00031287}+\frac{2.78*0.95*0.089*0.139}{0.00031287}-$$

$$-\frac{2*7.28*0.95*0.136*0.139}{0.00031287}+\frac{\omega*7.2^2*0.139}{8*0.00031287}\leq 0.45*4200$$

$$535.71+203.54+104.43-835.75+2878.90*\omega\leq 1890$$

$$7.93+2878.90\omega\leq 1890$$

$$\omega\leq 0.65\,{}^{T}\!/_{m}$$

Fibra Inferior

(Tons – m)

$$\frac{0.95*17.34}{0.3075}-\frac{0.0707*7.2^2*0.161}{8*0.00031287}-\frac{2.78*0.95*0.089*0.161}{0.00031287}+$$

$$+\frac{2*7.28*0.95*0.136*0.161}{0.00031287}+\frac{\omega*7.2^2*0.161}{8*0.00031287}\geq -1.6*\sqrt{f'c}$$

$$535.71-235.75-120.95+968.02-3334.55*\omega \geq -327.90$$

$$1147.03-3334.55*\omega \geq -327.90$$

$$\omega \leq 0.442 \, {}^{T}\!/_{m}$$

Efecto de la platina CFRP:

- Actuando la Platina únicamente; su acción es netamente hacia arriba, siendo entonces indispensable verificar que no exceda los esfuerzos máximos

CFRP, Fibra Superior

$$7.93+\frac{F_p}{A}-\frac{F_p*e*c_t}{I}\geq -1.6*\sqrt{f'c}$$

$$7.93+F_p\left(\frac{1}{0.03075}-\frac{0.161*0.139}{0.00031287}\right)\geq -327.90$$

$$F_p(32.52-71.53)\geq -335.83$$

$$F_p\leq 8.61 Ton.$$

CFRP, Fibra Inferior:

$$1147.03 + \frac{F_p}{A} + \frac{F_p * e * c_b}{I} \leq 0.45 * 4200$$

$$1147.03 + F_p \left(\frac{1}{0.03075} - \frac{0.161 * 0.161}{0.00031287}\right) \leq 1890$$

$$F_p (32.52 + 82.85) \leq 1890$$

$$F_p \leq 6.43 Ton.$$

Cálculos de esfuerzos con CFRP

- Por consiguiente se escoge el valor menor, o sea 6.43 Tons para proceder a la tensión del sistema.

- Sin embargo, se podría escoger un valor mayor, sin que necesariamente se ponga en peligro a los materiales.

Cálculos de esfuerzos con CFRP

- Adicionalmente se realizó un modelo matemático a través del programa computacional SAP2000.

- El modelo utilizó una inercia equivalente para la sección tipo.
- El resultado fue de 6 mm de recuperación.

Guías de Diseño de Reforzamiento Estructural

Guías de Códigos:

- Los enunciados principales para los reforzamientos de elementos de hormigón con este tipo de platinas son :

Guías de Diseño de Reforzamiento Estructural

- Capacidad última del elemento con reforzamiento no debe de exceder al doble de la capacidad del elemento sin reforzar.

- En similitud con el típico reforzamiento con varillas, el elemento es diseñado de tal manera que la falla en el concreto tenga lugar durante la fluencia del acero.

Guías de Diseño de Reforzamiento Estructural

- Este tipo de falla (dúctil) se detecta con la aparición de fisuras y deformaciones.

- Existe lo que se denomina las normas de código generadas en algunos casos por países que poseen institutos ya experimentados en su uso como los de la Unidad Europea (en Zurich-Suiza, Alemania, Francia) o E.E.U.U.

Guías de Diseño de Reforzamiento Estructural

- Dentro de este marco, se encamina la AC125, (cuya dirección en el web es : www.icbo.org)

Guías de Diseño de Reforzamiento Estructural

- ACI norteamericano
- Comité 440-F desarrolló un documento (ACI 440 F-99, 1999), para proporcionar recomendaciones de diseño y técnicas de construcción para el uso de CFRP.
- Sigue los mismos principios básicos de equilibrio y comportamiento constitutivo usados para el concreto reforzado convencionalmente.

Guías de Diseño de Reforzamiento Estructural

- La Sociedad Japonesa de Ingenieros Civiles (JSCE) emitió en el 2000 las primeras normas para uso de FRP en rehabilitación de estructuras de concreto.

- Sin embargo, aún está por definirse una metodología explícita para el manejo de muchos aspectos importantes, como:

- Uso de factores apropiados
- Baja ductilidad
- Desarrollo del anclaje.
- Criterio de refuerzo mínimo

Guías de Diseño de Reforzamiento Estructural

- **Normas de Diseño Comerciales**
- Empresas internacionales, fabricantes de las FRP, basados en sus experiencias, han desarrollado lo que se conoce como guías de diseño comerciales, por las cuales se rigen para elaborar sus productos.

- Master Builders Technologies (Degussa – Suiza, E.E.U.U.) con sus productos de la línea MBRACE™

- Francia con su sistema (Tisú de Fibres de Carbone TFC) de Freyssinet

- Diversas empresas de Alemania (DGW) , Suiza y el Reino Unido.

- Asimismo SIKA™ Internacional, que ha desarrollado sus productos : SIKA CARBODUR, SIKA WRAP (para reforzamiento a corte), SIKA LEOBA CARBODUR, tiene su propia guía, la cual es detallada en sus principales puntos a continuación :

- **Desarrollo de Norma Sika Carbodur:**

- Para elementos con reforzamiento CFRP a flexión, se debe cumplir lo siguiente:

  ϕ * resistencia nominal >= resistencia requerida

- Es importante aclarar que el comportamiento de los CFRP es casi lineal - elástico (ductilidad o deformación plástica de reserva casi nula en zonas de tracción).

- En el cálculo de la capacidad o resistencia, deben ser tenidos en cuenta las siguientes consideraciones:

- Deformaciones de todos los materiales

- Posición del eje neutro.

- Deformaciones previas causadas por cargas ANTES de colocar las láminas CFRP.

- El tipo de falla puede ser determinado por el espesor de la lámina.

- Etapa final del chequeo de la capacidad a flexión o estado límite de resistencia: Se compara la resistencia de diseño del elemento reforzado con la resistencia requerida en términos de momento:

$$\phi\ \mathbf{Mn} >= 1.4\ M_D + 1.7\ M_L$$

$$\phi = 0.85$$

- ϕ es menor que el usado para la flexión convencional diseñado con varillas de acero.