

**ACTIVIDADES DE APOYO TECNICO EN LA CONSTRUCCION DEL
PUENTE SOBRE EL RIO MAGDALENA ENTRE LOS MUNICIPIOS DE
BARRANCABERMEJA (SANTANDER) Y YONDO (ANTIOQUIA)**

EDUARDO SARMIENTO GONZALEZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2005**

**ACTIVIDADES DE APOYO TECNICO EN LA CONSTRUCCION DEL
PUENTE SOBRE EL RIO MAGDALENA ENTRE LOS MUNICIPIOS DE
BARRANCABERMEJA (SANTANDER) Y YONDO (ANTIOQUIA)**

EDUARDO SARMIENTO GONZALEZ

PRACTICA EMPRESARIAL

DIRECTOR DE PROYECTO: ING. RICARDO CRUZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2005**

Dedicado a mis padres, Eduardo Sarmiento Gamarra y Luz Enith Gonzalez y a mi hermana Luz Adriana Sarmiento Gonzalez, que me acompañaron en todo el proceso de la ejecución del trabajo, y quienes siempre me motivaron y me brindaron su apoyo para poder llegar a la consecución del documento.

AGRADECIMIENTOS

Se ofrecen agradecimientos a las siguientes personas como un reconocimiento por su aporte al desarrollo del texto:

Ing. Wiliam Gaona Losada, ingeniero de la empresa ConConcreto S.A, director del proyecto Puente Barranca-Yondo y director de la práctica en la empresa, que contribuyó con asesoría técnica y suministro de datos.

Ing. Juan Carlos Beltrán, ingeniero de la empresa ConConcreto S.A, residente del proyecto Puente Barranca-Yondo, y que contribuyó con acompañamiento en obra, asesoría técnica y apoyó significativamente el desarrollo del tema.

Ing. Jorge Campillo, ingeniero de la empresa ConConcreto S.A, ingeniero administrador del proyecto Puente Barranca-Yondo, que contribuyó con asesoría técnica y suministro de datos.

Ing. Ricardo Cruz, ingeniero docente de la escuela de ingeniería civil de la Universidad Industrial de Santander, director de proyecto y que contribuyó en la organización y algunos aspectos técnicos en el desarrollo del trabajo.

GLOSARIO

ACORTAMIENTO ELASTICO DEL CONCRETO: cuando la fuerza presforzante se transfiere a un miembro, existirá un acortamiento elástico en el concreto debido a la compresión axial.

ADITIVO ACELERANTE: compuesto que se utiliza con el fin de acelerar el fraguado del concreto, con el propósito de avanzar rápidamente en las actividades.

ADITIVO PLASTIFICANTE: compuesto que se utiliza para aumentar el tiempo de manejabilidad del concreto.

ANDAMIO DE CARGA: estructura en forma de torre que soporta cargas muertas o vivas temporalmente.

BARRAS DYWIDAG: barras de acero de gran resistencia que hacen parte de la estructura de soporte del carro de avance.

CABLE: conjunto de torones colocados en un ducto galvanizado conformando una unidad.

CALOR DE HIDRATACION: aumento de temperatura debido a la reacción del cemento con el agua.

CARRO DE AVANCE: formaleta móvil sobre la cual se funden las dovelas del sistema de voladizos sucesivos.

CONSOLIDACION: reducción de vacíos en el concreto, donde se garantiza un estrecho contacto del concreto con la formaleta y con el refuerzo.

CUÑA: elemento de agarre del torón para realizar el tensionamiento.

CURADO: son todas las operaciones que mejoran la hidratación del concreto después del fraguado.

DIAFRAGMAS: elementos de concreto reforzado que ubicados entre vigas de puentes para rigidizar la estructura.

DOVELA: segmento de voladizo que tiene entre tres y cinco metros de longitud.

DUCTOS DE CABLES: son los conductos galvanizados que alojan los torones para conformar los cables.

FLUJO PLASTICO: pérdida que se presenta en los cables por la deformación del concreto ante la acción de cargas sostenidas como son la carga muerta y el presfuerzo.

INTERVENTORIA: es la empresa encargada de supervisar que se cumplan los requerimientos y especificaciones técnicas en la obra.

LODO BENTONITICO: polímero utilizado para prevenir derrumbes en excavaciones de pilotes.

PILOTES: elementos que hacen parte de la cimentación de la estructura.

PRESFUERZO: material que se utiliza para aumentar la resistencia de la estructura a esfuerzos de tensión.

RELAJACION DEL ACERO: es el reacomodo y rompimiento interno de partículas producido por el tensionamiento del acero de presfuerzo.

SEGREGACION: fenómeno del concreto en el cual se separan el agregado fino del agregado grueso.

TORON: elemento fabricado con siete alambres de gran resistencia firmemente torcidos.

TRAZABILIDAD: proceso de clasificación y control de consumo de los materiales en la obra.

VIGA CABEZAL: elemento de soporte de la superestructura ubicado en la parte superior de la columna.

VOLADIZOS SUCESIVOS: sistema constructivo de puentes, que consta de dos voladizos empotrados en una pila central, los cuales son fabricados por segmentos que se funden simultáneamente.

TITULO

ACTIVIDADES DE APOYO TÉCNICO EN LA CONSTRUCCIÓN DEL PUENTE SOBRE EL RÍO MAGDALENA ENTRE LOS MUNICIPIOS DE BARRANCABERMEJA (SANTANDER) Y YONDO (ANTIOQUIA)*

AUTOR

EDUARDO SARMIENTO GONZALEZ**

PALABRAS CLAVES

Procedimientos Constructivos de Elementos, Control de Calidad de Materiales, Concreto masivo y calor de hidratación del cemento, Método de Postensado, Sistema de Voladizos Sucesivos con Segmentos Fundidos in situ.

RESUMEN

El objetivo fundamental de la Practica Empresarial desarrollada en la Obra de Construcción del Puente Barrancabermeja–Yondó, fue la realización de unas actividades de apoyo técnico, asistencia administrativa y la ejecución de procesos de investigación sobre las propiedades mecánicas de los materiales de construcción. Para el alcance de los objetivos propuestos se desarrolló la siguiente metodología: a) Recopilación y análisis de la Documentación Interna de la Obra (Información de Diseño del Proyecto, Procedimientos de Control de Calidad y Registros de Estudios realizados); b) Conocimiento de todos los Procesos Constructivos bajo el acompañamiento de los profesionales de la obra; c) Elaboración de registros de campo con el apoyo de profesionales y maestros de obra d) Obtención de Documentación Técnica Externa.

El documento se compone de cuatro capítulos. En el primero de ellos se realiza una descripción general del proyecto, incluyendo generalidades teóricas y constructivas de los principales materiales que componen el puente (Concreto, Acero de Refuerzo, Presfuerzo). En el segundo capítulo se desglosan las actividades que se realizaron en la obra, donde se presentan los aportes importantes sobre los aspectos constructivos, de igual forma, los resultados y conclusiones de dichas actividades. En el tercer capítulo se describe un Manual de Procedimientos para la construcción de Voladizos Sucesivos por Segmentos Construidos in situ, que se presenta como aporte técnico a la universidad. En el capítulo cuatro se definen las conclusiones finales.

Las conclusiones que se destacan en los aprendizajes obtenidos durante el desarrollo de la experiencia en la Obra, son: 1) El Sistema de Voladizos Sucesivos es un método constructivo que permite grandes luces con procesos constructivos relativamente económicos y sencillos. 2) Los análisis de Rendimientos de Mano de Obra son un método efectivo para garantizar el control presupuestal del proyecto, donde se logra una regulación de los niveles de efectividad en el personal. 3) En las obras de construcción, donde el concreto requiera grandes cantidades de cemento, se deben desarrollar ciertos mecanismos con el fin de evitar que el calor de hidratación del cemento produzca fisuras en el concreto.

* *Práctica Empresarial*

** *Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Ingeniería ; Director: Ing. Ricardo Cruz*

TITLE

TECHNICAL SUPPORT ACTIVITIES FOR CONSTRUCTION TO BRIDGE OVER RIVER MAGDALENA BETWEEN THE MUNICIPALITIES OF BARRANCABERMEJA (SANTANDER) AND YONDO (ANTIOQUIA)*

AUTHOR

EDUARDO SARMIENTO GONZALEZ**

KEY WORDS

Segmental Bridges, Control Quality Materials, mass concrete and heat of hydration,

SUMMARY

The fundamental objective of the Manager Practice developed in the building Barrancabermeja-Yondó Bridge, was the accomplishment of technical support activities, administrative attendance and the execution of investigation processes about mechanical properties of the construction materials. For the reach of the proposed objectives the following methodology was developed: a) Compilation and analysis of the Internal Documentation of Obra (Information of Design of the Project, Quality control procedures and Registries of made Studies); b) Knowledge of all the Constructive Processes under the support of the professionals of the work; c) Elaboration of registries of field with the support of professionals and construction foremen d) Obtaining of External Technical Documentation.

The document is made up of four chapters. In first of them a general description of the project is made, including theoretical and constructive majorities of the main materials that compose the bridge (Concrete, Steel of Reinforcement, Presfuerzo). In the second capitulate detach the activities that were made in the work, where appear the important contributions on the constructive aspects, similarly, the results and conclusions of these activities. In third capitulate describes a Manual for the construction of segmental bridges, that one appears as contributes technician to the university. In fourth capitulate define the final conclusions.

The conclusions that stand out in the learnings obtained during the development of the experience in construction are: 1) El Sistema de Voladizos Sucesivos es un método constructivo que permite grandes luces with relatively economic and simple constructive processes. 2) The analyses of performance labor are an effective method to guarantee the budgetary control of the project, where a regulation of the effectiveness levels in the personnel is obtained. 3) In building projects, where the concrete one requires great amounts of cement, certain mechanisms with the purpose of avoiding are due to develop that the heat of hidratación of the cement produces fissures in the concrete.

* Manager Practice

** Physicmechanical Engineering School - Civil Engineering; Director: Ing. Ricardo Cruz

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	18
1. DESCRIPCION GENERAL DEL PROYECTO	21
1.1 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO	21
1.1.1 Pilotes	21
1.1.2 Zapatas	22
1.1.3 Columnas	23
1.1.4 Viga cabezal	24
1.15 Vigas Postensadas	24
1.1.6 Losa Superior	25
1.1.7 Voladizos sucesivos	26
1.2 MATERIALES	26
1.2.1 Concreto	26
1.2.2 Acero	30
1.2.3 Presfuerzo	31

2. ACTIVIDADES DESARROLLADAS DURANTE LA PRÁCTICA	38
2.1 CONCRETO	38
2.1.1 Control de desperdicio	38
2.1.2 Formaleta	41
2.1.3 Concreto masivo	47
2.1.4 Niveles de dovelas	52
2.1.5 Cantidades de obra	53
2.2 ACERO	53
2.2.1 Cantidades y despieces de obra	53
2.2.2 Control de desperdicio	55
2.2.3 Trazabilidad	55
2.3 PRESFUERZO	56
2.3.1 Alargamientos	56
2.3.2 Trazabilidad	60
2.4 ANALISIS DE RENDIMIENTO DE MANO DE OBRA EN LA CONSTRUCCION DE PUENTES POR EL METODO DE VOLADIZOS SUCESIVOS	61

2.4.1 Concreto	61
2.4.2 Acero	63
2.4.3 Presfuerzo	63
2.4.4 Analisis de Presupuesto	64
2.5 MANUAL DE FUNCIONES DE UN INGENIERO RESIDENTE	66
2.5.1 Objetivo	66
2.5.2 Alcance	66
2.5.3 Introducción	66
2.5.4 Supervisión de obra	66
2.5.5 Materiales y equipos necesarios para la obra	67
2.5.6 Control de cantidad de personal	68
2.5.7 Diseño, Cálculos y Análisis de datos de campo	68
2.5.8 Información a interventoria	68
2.5.9 Seguridad Industrial y Salud Ocupacional	69
2.5.10 Impacto Social y Ambiental	69
2.6 OTRAS ACTIVIDADES REALIZADAS DURANTE LA PRÁCTICA	69

3. PROCEDIMIENTO PARA LA CONSTRUCCION DE PUENTES POR EL SISTEMA DE VOLADIZOS SUCESIVOS CONSTRUIDOS POR SEGMENTOS FUNDIDOS IN SITU.	72
3.1 OBJETIVO	72
3.2 ALCANCE	72
3.3 INTRODUCCION	72
3.4 DESCRIPCION DEL PROCESO	72
3.5 CARRO DE AVANCE	73
3.5.1 Composición del carro de avance	74
3.5.2 Montaje	78
3.6 GEOMETRIA DE PUENTES CONSTRUIDOS POR DOVELAS	79
3.7 PROCEDIMIENTO PARA CONSTRUCCION DE DOVELAS	80
3.7.1 Ubicación y nivelación del carro de avance	80
3.7.2 Colocación de acero de refuerzo	83
3.7.3 Colocación de ductos de los cables de tensionamiento	84
3.7.4 Vaciado de dovelas	85
3.7.5 Desencofrado de formaleta de muros	88

3.7.6 Curado del concreto	88
3.7.7 Enhebrado de torones	89
3.7.8 Tensionamiento de cables	90
3.7.9 Inyección de cables	93
3.7.10 Estabilidad en construcción	93
3.7.11 Realizaciones en Colombia	95
4. CONCLUSIONES	97
BIBLIOGRAFIA	102
ANEXOS	103

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1. Cantidades de los pilotes para el puente Barranca-Yondo	23
Tabla 1.2. Dosificaciones del concreto utilizado en la obra	27
Tabla 1.3. Resistencias del concreto de los elementos que constituyen la estructura del puente	28
Tabla 1.4. Propiedades mecánicas de la formaleta utilizada en la obra	31
Tabla 2.1. Clasificación del concreto por su consistencia.	40
Tabla 2.2. Tiempos de descargue y rendimientos de los vaciados de cada elemento	49
Tabla 2.3. Calor de hidratación en los tipos de cemento	55
Tabla 2.4. Desperdicio de acero de los últimos meses	56
Tabla 2.5. Acero de stock	62
Tabla 2.6. Resultados de rendimientos para actividades relacionadas con concreto	63
Tabla 2.7. Resultados de rendimientos para actividades relacionadas con acero	64
Tabla 2.8. Resultados de rendimientos para actividades relacionadas con presfuerzo	64
Tabla 2.9. Comparación de horas trabajadas versus horas facturadas en una semana normal	65
Tabla 2.10. Comparación de horas trabajadas versus horas facturadas en una semana con lunes festivo	65
Tabla 3.1. Propiedades mecánicas de las barras dywidag utilizadas en la obra	76
Tabla 3.2. Duración típica para la construcción de dovelas	95

LISTA DE FIGURAS

	Pág
Figura 1.1. Obra falsa para fundición de zapata	24
Figura 1.2. Fabricación de columna	25
Figura 1.3. Cerchas para obra falsa de vigas postensadas	26
Figura 1.4. Cables para vigas postensadas	33
Figura 1.5. Cuñas para tensionamiento de cables	35
Figura 1.6. Tipos de anclajes para cables de postensado	35
Figura 1.7. Tensionamiento de vigas con gato hidráulico	36
Figura 2.1. Toma de temperatura del concreto	38
Figura 2.2. Medida de asentamiento en obra	39
Figura 2.3. Desperdicio acumulado para cada elemento del puente	40
Figura 2.4. Repisa de formaleta para losa	41
Figura 2.5. Zapata y columna del apoyo 6 en la construcción del puente Barranca-Yondo.	47
Figura 2.6. Relación de la temperatura del concreto con el tiempo	48
Figura 2.7. Vertimiento de hielo en escarcha sobre los mezcladores	51
Figura 2.8. Niveles de dovelas	52
Figura 2.9. Alargamientos de cables del voladizo	57
Figura 2.10. Gato hidráulico	58
Figura 2.11. Curva esfuerzo-deformación de cables de postensado	60
Figura 2.12. Prueba de corrosión del acero	71
Figura 3.1. Sistema de voladizos sucesivos	73

Figura 3.2. Vista frontal del carro de avance	74
Figura 3.3 Trompo del carro	74
Figura 3.4. Cechas del carro de avance	75
Figura 3.5. Rieles que soportan la estructura del carro de avance	75
Figura 3.6. Barras dywidag para estructura del carro de avance	75
Figura 3.7. Plataformas superior e inferior del carro de avance	77
Figura 3.8. Apoyos de cerchas del carro de avance	77
Figura 3.9. Sección viga cajón	80
Figura 3.10. Gato de soporte del carro de avance	81
Figura 3.11. Avance del carro	82
Figura 3.12. Ductos para cables	84
Figura 3.13. Enhebrado de torones	89
Figura 3.14. Bombas para proceso de enhebrado	89
Figura 3.15. Proceso esquemático de enhebrado	90
Figura 3.16. Resumen de proceso de tensionamiento	91
Figura 3.17. Inyección de ductos	93

INTRODUCCION

El principal objetivo de una práctica empresarial debe ser aplicar los conocimientos adquiridos en el Alma Mater en una forma activa dentro del campo laboral, ampliando su visión profesional, promoviendo una experiencia laboral importante y de esta manera poder contribuir con el desarrollo del país.

Este documento esta diseñado con el fin de presentar resultados sobre las diferentes actividades ejecutadas durante la práctica en la construcción del Puente Barranca-Yondo, referentes a conceptos teóricos, descripción de procesos constructivos, control de calidad, trabajos de investigación y algunos cálculos y diseños estructurales. Por su contenido sobre los sistemas empleados en la construcción de puentes dejando ver lo avances alcanzados hasta el momento en el país en este campo, además de los aportes técnicos presentados, este documento se presta como un importante texto de consulta tanto para estudiantes como para profesionales de ingeniería civil.

La elaboración de este documento esta basado en información obtenida directamente de la obra de la construcción del puente Barranca-Yondo, adquiriendo de allí los datos técnicos necesarios de campo y documentos de oficina. Sumado a esto también se consultó otros documentos externos a la obra con el fin de complementar la información.

El documento esta dividido en cuatro capítulos. En el primero de ellos se realiza una descripción general del proyecto donde se presentan las características principales del puente Barranca-Yondo, como la ubicación, geometría, y el sistema constructivo utilizado. En este capítulo se describen los procesos constructivos para la construcción de las estructuras de concreto (zapatas, pilotes, etc.) que componen el la estructura del puente. Adicionalmente en este capítulo se describen las características y propiedades principales de los materiales utilizados en la obra, y algunas técnicas constructivas para el manejo adecuado de estos materiales.

El segundo capítulo trata de las actividades realizadas durante la práctica. Este capítulo se divide en tres secciones, concreto, acero y presfuerzo, que son los tres materiales utilizados en la obra, ya que se realizaron actividades relacionadas con cada material. Sobre concreto se describe el procedimiento de control de desperdicio, diseños y modulaciones de formaleta, una investigación sobre concreto masivo aplicable en la construcción del puente, y cantidades de obra que se calcularon durante la practica. Sobre acero se describen las cantidades para la construcción del puente y los despieces que

se realizaron, igualmente como se llevo a cabo el control de desperdicio, y la una descripción de los registros de trazabilidad. Posteriormente se describen las actividades realizadas relacionadas con el presfuerzo principalmente en lo que tiene que ver con alargamientos de los cables, mencionando algunas características y mostrando algunos cálculos de ajustes y chequeos que se realizaron en la obra de dichos alargamientos. Estos cálculos están acompañados de gráficos con el fin facilitar la comprensión de los resultados. En este capítulo se muestra un estudio de rendimientos de mano de obra, basado en datos obtenidos de campo. Con estos datos de campo se calcularon unos rendimientos para actividades de concreto, acero y presfuerzo que luego se comparan con los rendimientos esperados para poder establecer un balance. Al final del capítulo se realizó un documento en el cual se describen las principales funciones de un ingeniero residente. Este documento fue realizado bajo parámetros y experiencias de la práctica en la construcción del puente Barranca-Yondo, aunque también aplica a obras de mayores o menores magnitudes.

En el capítulo tres se presenta el aporte técnico. Este aporte es un manual para la construcción de puentes por el sistema de voladizos sucesivos. Este comienza con una descripción del proceso, posteriormente se describen las generalidades del carro de avance (formaleta móvil utilizada en el sistema) con imágenes que ilustran las partes del carro, detalles de geometría, estabilidad en construcción y presenta un procedimiento paso a paso para la construcción de una dovela desde la ubicación y nivelación del carro de avance hasta el desencofrado de la dovela e inyección de los cables de postensado.

Por ultimo en el capítulo 4 se definen las conclusiones del trabajo realizado.

Los objetivos que se trazaron en el principio de la práctica para el plan de proyecto fueron los siguientes:

OBJETIVO GENERAL

- Apoyo técnico en las actividades de construcción del puente sobre el río Magdalena entre los municipios de Barrancabermeja (Santander) y Yondo (Antioquia)

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Elaborar un procedimiento para la construcción de un puente en voladizos sucesivos.
- Ejercer un control sistemático del acero de refuerzo y cables de postensado utilizado en la obra.

- Elaborar un manual de funciones de un ingeniero residente de obra.
- Llevar a cabo un control de no conformidades en la obra bajo un sistema de calidad, elaborando un registro de acciones correctivas, preventivas y de mejora.
- Evaluar rendimientos de obra para distintas actividades, con base en un seguimiento detallado en obra.
- Realizar un control del comportamiento de las dovelas con el fin de documentar los cambios de niveles durante el proceso constructivo en actividades de fundida, tensionamiento de cables, desplazamiento del carro de avance y temperatura ambiente.
- Llevar un registro de control del proceso de postensado de cables de vigas y dovelas basado en datos obtenidos en campo.
- Realizar un análisis del control de los niveles del carro de avance utilizado en los voladizos sucesivos antes y después del vaciado de la dovela.

1. DESCRIPCION GENERAL DEL PROYECTO

El proyecto consiste en la construcción de un puente sobre el Río Magdalena entre los municipios de Barrancabermeja y Yondo, cuya ubicación general esta en el área comprendida por el sector oriental del Departamento de Antioquia, el occidente del Departamento de Santander y el sur del Departamento de Bolívar. La zona seleccionada para la construcción del puente se encuentra ubicada en el sitio conocido como el Estrecho de Galán, aguas debajo de Barrancabermeja y de la Refinería de Ecopetrol, entre los campos Galán (Santander) y Casabe (Antioquia) y corresponde al paso mas angosto del río.

El puente tiene una longitud total de 919.10 m, divididos de la siguiente manera: Un tramo de puente principal de 399.20 m de longitud que se construirá con el sistema de voladizos sucesivos y dos viaductos de acceso, de 359.95 m de longitud en la margen izquierda y 159.95 m de longitud en la margen derecha, que fueron diseñados con el sistema de viga y losa.

El puente principal de voladizos sucesivos está soportado en cuatro apoyos (apoyos 5 a 8) que conforman tres luces, una central de 200.00 m y dos laterales de 99.60 m; los dos apoyos del lado derecho del puente se encuentran en tierra por encima del nivel de aguas máximas del río, apoyados sobre pilotes en tierra, mientras que los dos apoyos del lado izquierdo del puente se encuentran permanentemente en agua, por lo cual será necesario utilizar camisas metálicas perdidas para la excavación y hormigonado de los pilotes en agua. En cada apoyo se construirá sobre los pilotes un dado de fundación que servirá de soporte a columnas rectangulares huecas que darán apoyo a la estructura de voladizos sucesivos.

El viaducto de acceso de la margen izquierda está soportado en diez apoyos (apoyos 8 a 17) conformando nueve luces de 40.00 m con tres vigas postensadas en cada luz, sobre las que se construye el tablero del puente; de la misma manera, el viaducto de acceso de la margen derecha está soportado en cinco apoyos (apoyos 1 a 5) conformando cuatro luces de 40.00 m con tres vigas postensadas en cada luz. Las vigas se apoyan en vigas cabezales soportadas por columnas de sección en I, que a su vez se apoyan en dados de fundación construidos sobre grupos de pilotes en cada apoyo.

1.1 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

1.1.1 Pilotes. Los pilotes se excavaron a máquina utilizando palas mecánicas y garantizando la estabilidad de las paredes de la excavación mediante el uso de lodos bentoníticos. Para la ejecución de los pilotes de los apoyos 7 y 8, que estarán permanentemente sumergidos, se utilizaron camisas metálicas

pérdidas que se hincaron en el lecho del río para garantizar que la corriente de agua permita realizar la excavación. La excavación se realizó con equipos rotativos; así mismo, se dispuso de planchones sobre los cuales se colocaron los equipos que ejecutaron los trabajos de pilotaje en el agua.

Para mantener estables las paredes de la excavación se utilizan lodos bentoníticos. La utilización de lodos bentoníticos en la excavación de pilotes esta limitada a la estabilidad de las paredes de la excavación. Esta función no puede asegurarse si las características del lodo no se mantienen dentro de los límites correspondientes. El lodo preparado se envía directamente a los pozos por intermedio de bombas y conductos de alimentación. Después de numerosos reciclajes, cuando su tratamiento se torna difícil, el lodo es evacuado hacia unas piscinas de decantación y retirado de la obra.

En la tabla que se muestra a continuación indica la cantidad, el diámetro y la longitud de los pilotes en cada uno de los apoyos del puente.

Tabla 1.1. Cantidades de los pilotes para el puente Barranca-Yondo

APOYO	CANTIDAD	DIAMETRO	LONGITUD	OBSERVACIONES
1	3	1,20	35,20	
2	4	1,20	33,50	
3	4	1,20	33,50	
4	4	1,20	33,50	
5	6	1,50	35,00	
6	15	2,00	35,00	
7	15	2,00	47,00	En agua
8	6	2,00	40,00	En agua
9	4	1,50	35,00	
10	4	1,50	35,00	
11	4	1,50	35,00	
12	4	1,50	35,00	
13	4	1,50	35,00	
14	4	1,50	35,00	
15	4	1,50	35,00	
16	4	1,50	35,00	
17	3	1,50	35,00	

Una vez excavados los pilotes, se colocará la armadura de refuerzo en su interior y se llenará la excavación con concreto tipo tremie a través de una tubería colocada por el centro de la excavación hasta el fondo, de tal manera que el concreto irá desplazando gradualmente el lodo bentonítico hasta sobrepasar la cota superior especificada en los planos; posteriormente, será necesario “descabezar” el pilote retirando el concreto de la parte superior que siempre estuvo en contacto con el lodo bentonítico, para garantizar la calidad de la totalidad del concreto del pilote.

1.1.2. Zapatas Los dados de fundación de los apoyos en tierra se construyeron sobre los pilotes, una vez se realizaron las excavaciones hasta

las cotas establecidas en los planos para los dados de fundación y se colocó un concreto de limpieza sobre el terreno llamado solado, para poder conformar la armadura de refuerzo y proceder al vaciado del elemento. Este concreto de limpieza es un mortero que tiene una resistencia 140 Kg./cm².

Para los dados de fundación de los apoyos en el agua se diseñó una estructura metálica provisional adosada a las camisas metálicas perdidas de los pilotes para soportar el peso del concreto fresco. Sobre estos elementos se colocará un entramado de vigas metálicas que soportarán la formaleta de fondo de madera, sobre la cual se armará el refuerzo y se encofrarán las paredes de los dados de fundación, antes de proceder con el vaciado de este elemento.

Figura 1.1 Obra falsa para la fundición de zapata.



1.1.3 Columnas. En los dados de fundación se dejará embebido el acero de refuerzo para el inicio de las columnas del puente, las cuales serán rectangulares huecas para los apoyos 5 a 8 y de sección en I para el resto de los apoyos.

Las columnas se vaciarán en tramos de 3 metros de altura hasta alcanzar la cota especificada en los planos, utilizando formaletas de madera con tensores metálicos que evitan que se abran y garantizan espesores de las paredes. A medida que se vaya ascendiendo en altura, será necesario utilizar andamios para la construcción de plataformas de trabajo alrededor de la columna, de tal manera que se puedan brindar condiciones de trabajo seguras al personal que labora en esta actividad.

Figura 1.2. Fabricación de columna.



1.1.4 Vigas Cabezal. Una vez las columnas hayan alcanzado la cota indicada en los planos, sobre cada una se construirá una viga cabezal de concreto macizo que soportará las cargas de la superestructura del puente. Para su construcción se requiere elaborar una obra falsa sobre andamios de carga apoyados sobre el dado de fundación con el objeto de soportar el peso del concreto fresco; sobre dicha obra falsa se instalará un entramado de vigas metálicas para sostener tableros de madera, sobre los cuales se conformará la armadura de refuerzo y se colocará la formaleta lateral debidamente apuntalada con tacos metálicos, antes de efectuar el vaciado del concreto.

1.1.5 Vigas Postensadas. En los viaductos de acceso se construirán tres vigas postensadas de 40.00 m de longitud por cada luz, las cuales son elementos prefabricados longitudinales de concreto reforzado con acero de refuerzo y acero de preesfuerzo, de sección en I colocadas sobre vigas cabezal entre dos apoyos consecutivos.

Las vigas postensadas entre los apoyos 1 y 2 fueron fundidas in situ, entre los apoyos 2 al 5 fueron fundidas en tierra e izadas y colocadas en su sitio definitivo mediante grúas telescópicas de gran capacidad; en la margen izquierda las vigas entre los apoyos 12-13 se fundieron sobre una cimbra apoyada en las vigas cabezal, las vigas entre los apoyos 13 a 16 se fundirán un situ sobre una plataforma que se colocara sobre andamios de carga. Para el resto de vigas es decir entre los apoyos 8 a 12 se utilizara el sistema de fundidas en tierra y colocadas en el lugar por medio de grúas de gran capacidad.

Figura 1.3 Cerchas de obra falsa para vigas postensadas.



Se dispondrá de una plataforma de prefabricación sobre la cual se armará el acero de refuerzo y se dejarán colocados los cables de preesfuerzo. Posteriormente, se coloca la formaleta lateral metálica o de madera con pasadores metálicos llamados comúnmente tensores que evitan que la formaleta se abra garantizando los espesores de la viga y con tacos metálicos inclinados para apuntalamiento de las formaletas que garantizan la estabilidad de las mismas.

Las vigas postensadas están apoyadas directamente por apoyos elastomeritos de neopreno, que constan únicamente de apoyos laminados, compuestos por capas de elastómeros, unidos entre si por laminas pegadas. Estos apoyos tienen como función principal evitar el agrietamiento en las zonas de apoyo de vigas y columnas.

La presión de apoyo de los neoprenos elastoméricos no deben exceder los siguientes valores: para carga muerta sola 500 psi y para carga muerta mas viva 800 psi.

1.1.6 Losa superior. Una vez en su sitio las vigas postensadas, se construye una obra falsa apoyada en la parte inferior de las vigas postensadas y se instalan repisas metálicas que son cerchas de tres elementos adosadas a las vigas laterales para soportar perfiles metálicos que sostienen una plataforma de madera, sobre la cual se colocará el acero de refuerzo y se procederá a vaciar el concreto de este elemento.

Una vez que el concreto obtenga la resistencia indicada en los planos, se procede a efectuar el tensionamiento secundario de los cables de preesfuerzo de las vigas postensadas.

1.1.7 Voladizos Sucesivos. La superestructura del puente principal se compone de una viga cajón de altura variable construida mediante el sistema de voladizos sucesivos o por dovelas, cuya longitud está entre 3.00 y 5.00 m, utilizando carros formaleta que se van desplazando sobre las dovelas construidas hasta alcanzar la última dovela.

1.2 MATERIALES

1.2.1 Concreto

➤ **Propiedades del concreto en obra**

Tabla 1.2 Dosificaciones del concreto utilizado en la obra puente Barranca-Yondo.

RECETA	CEMENTO	GRAVA	ARENA	TM-5	VISCOCR	HIELO	AGUA
280 Tremie (Pilotes)	400	799	901	2	0.4	100	100
280	400	830	865	1.8		100	100
350	440	820	850	1.8		105	95
420	455	790	840	2.075	0.7	105	63
210	272	910	943	1		90	40
140	216	908	1062	0.7			175

*En la obra se utiliza concreto de 280 Kg./cm² para dos elementos, el tipo tremie es para pilotes y el otro es para zapatas.

En la construcción del puente se utilizan dos aditivos; el plastiment TM-5, que es un aditivo plastificante, y el viscocrete que es un aditivo superplastificante.

Los aditivos solo se deben utilizar cuando se necesite una marcada mejora que no puede obtenerse en forma económica con la mezcla básica. Debido a las mejoras en una característica producen, a menudo, un efecto adverso en las otras características, se deben tomar ciertas medidas de precaución cuando se piensa utilizar aditivos. En la construcción del puente, por ejemplo, en ocasiones el exceso de aditivo plastificante TM-5, utilizado para evitar taponamientos en la tubería de bombeo de los voladizos, ocasiono una retracción de fraguado del concreto y por ende demoras en la continuación de las siguientes actividades. Después de 12 horas del vaciado el concreto aun presentaba zonas donde se notaba fresco y con algunas fisuras superficiales, y con esto no se podía realizar el avance de los rieles, ni el enhebrado de los cables, ya que para este proceso se debe posicionar la bomba sobre la dovela recién fundida.

Tabla 1.3 Resistencias del concreto de los elementos que constituyen la estructura del puente Barranca-Yondo.

ELEMENTO	RESISTENCIA Kg./cm ²
Zapata	280
Pilotes	280
Columnas	350
Vigas postensadas	420
Dovelas	210
Anden	210
Solados	140

El tamaño máximo de agregado para columnas y vigas cabezal es 1" y para el resto de las estructuras es de $\frac{3}{4}$ ". El tamaño del agregado debe ser tal que garantice su paso por entre el refuerzo y evitar totalmente la segregación y la sedimentación.

El tiempo de manejabilidad depende de la inclusión o no de aditivo, normalmente este tiempo esta entre 2 +/- 0.5 horas. El contenido de aire máximo es de 3% y la relación agua/cemento es de 0.5.

El usuario del concreto desea resistencia adecuada, facilidad de colocación y durabilidad, al mínimo costo. El proyectista de concreto puede variar las proporciones de los cinco componentes dentro de límites amplios, para lograr esos objetivos. Las variantes principales son la relación agua/cemento, la proporción cemento/agregado, tamaño del agregado grueso, proporción entre agregado fino y agregado grueso, tipo del cemento y productos incluidos en la mezcla.

➤ **Tipos de vaciado** En la obra el vaciado del concreto se hace de dos formas:

Con bomba. Este tipo de vaciado se requiere cuando por condiciones de estabilidad del suelo o de espacio, no es posible que el mixer descargue la mezcla directamente sobre el elemento y también es utilizado cuando el concreto necesita ser colocado en alturas.

En la construcción del puente, los elementos que se funden con bomba son; columnas, dovelas, zapatas, vigas postensadas, vigas cabezal, losas, y los pilotes en agua. Para la ubicación de la bomba en los vaciados de pilotes en agua, se utilizaron planchones, que fueron llevados hasta el sitio por medio de remolcadores.

Directo. Este tipo de vaciado consiste en descargar la mezcla directamente sobre el elemento a fundir o que no necesita equipos de bombas. Los elementos como solados, zapatas, y pilotes en tierra. Algunos elementos como

andenes, diafragmas y topes sísmicos están a grandes alturas pero pueden ser vaciados directamente con grúas por sus volúmenes pequeños.

El vaciado de los pilotes en tierra se realiza directo pero con tubería tremie como ya se mencionó anteriormente, que se realiza desde el fondo del pilote y el vibrado lo hace directamente esta tubería. El concreto se colocará utilizando tubos tremie seleccionados unidos por medio de acoples y una tolva para recepción del concreto. Para garantizar una continuidad correcta y evitar discontinuidad en el pilote, la tubería permanecerá embebida dentro del concreto por lo menos 4 metros, durante todo el proceso de vaciado. Es recomendable que el concreto sea suministrado a un ritmo de por lo menos 40 m³/hora y debe tener una manejabilidad de por lo menos 4 horas.

Con Autobomba: La autobomba es un carro que porta una bomba y en su parte trasera contiene unas rejillas para la recepción del concreto. Igualmente consta de un brazo con articulaciones para poder manejar y movilizar la tubería de bombeo. La autobomba se ha utilizado en la obra para la fundición de dovelas y para zapatas en el río.

➤ **Proporcionamiento y mezclado del concreto** Los componentes de una mezcla se deben seleccionar para producir un concreto de las características deseadas para las condiciones de servicio y con trabajabilidad adecuada al mínimo costo. Por economía, la cantidad de cemento se debe mantener al mínimo. En general, este objetivo se facilita con la selección del agregado del tamaño máximo consecuente con los requisitos de la obra y buena gradación, para tener volúmenes menores de vacíos. Cuanto menor sea este volumen, menos pasta de cemento se necesita para llenar los vacíos.

El tiempo de mezclado, contado desde el momento en que los ingredientes y el agua están en el mezclador o mixer, debe ser, por lo menos, de 1.2 min para una mezcla de 1 m³, más 0.40 min por cada metro cúbico de capacidad adicional. El tiempo excesivo de mezclado puede eliminar el aire incluido y aumentar los finos lo cual necesita más agua para mantener la trabajabilidad. Por ello es aconsejable establecer un tiempo máximo de mezclado. Como guía general, se emplean 3 veces el tiempo mínimo de mezclado.

En la construcción del puente el mezclado se realiza directamente en los carros mezcladores en la planta de concretos de la empresa Cemex que está al lado de la obra. La corta distancia entre la planta de mezclas y la obra es favorable ya que la propiedad de manejabilidad que se pierde en el trayecto hasta la obra es mínima.

➤ **Vibrado del concreto** La vibración del concreto en las formaletas es un procedimiento importante porque elimina los vacíos. La consolidación también asegura un estrecho contacto del concreto con las formaletas, el refuerzo y otros materiales embebidos.

Para la consolidación del concreto estructural se recomiendan vibradores de inmersión. La oscilación debe ser, por lo menos de 7000 vibraciones por minuto cuando la cabeza del vibrador esta sumergida en el concreto. Cada metro cúbico se debe vibrar por lo menos un minuto. Un buen vibrador pequeño debe trabajar de 5 a 10 m³ por hora. Existen vibradores de gran tamaño, los cuales deben ser manipulados por varias personas y trabajan para una cantidad mayor de concreto.

Existen varias técnicas en el vibrado del concreto que se deben tener en cuenta:

- En el momento del vibrado, el vibrador se debe colocar verticalmente y no horizontal o inclinado, ya que este trabaja mejor de esta forma.
- En lo posible el vibrador no debe tocar las paredes de la formaleta ya que esto genera el desprendimiento de partículas de madera de la formaleta que producen manchas cuando el concreto ha endurecido.
- El vibrado deben realizarlo en lo posible personas que tengan alguna experiencia en este proceso.
- El vibrador no debe permanecer por mucho tiempo en un mismo lugar ya que puede producir la segregación del concreto.

➤ **Curado.** Aunque en algunas mezclas normales de concreto se incorpora suficiente agua para la hidratación, el secado del concreto después del fraguado puede demorar o impedir la hidratación completa. El curado incluye todas las operaciones que mejoran la hidratación después que ha fraguado el concreto. Si se efectúa en forma correcta por un periodo suficientemente largo, el curado produce un concreto mas fuerte e impermeable.

El curado se debe efectuar tan pronto como el concreto ha endurecido suficiente para no sufrir daños en la superficie.

El agua se debe aplicar a las superficies formadas mientras la cimbra todavía esta en su lugar y seguir este proceso por varios días después del desencofrado, si el agua solo se aplica la primera vez, es recomendable aplicar un aditivo que proteja el concreto del sol y del aire. Antes de colar concreto en tiempo caluroso, la cimbra y los refuerzos se deben rociar con agua fría. El concreto se debe colocar y acabar con rapidez para minimizar la perdida de revenimiento.

➤ **Tipos de formaleta**

Tabla 1.4. Propiedades mecánicas de la formaleta utilizada en la obra

MATERIAL	CALIBRE (mm)	MODULO DE ELASTICIDAD (Kg/cm ²)	RESISTENCIA		USO
			FLEXION (Kg/cm ²)	CORTE (Kg/cm ²)	
Formaplack Pizano	19	84.360	84	12	Dovelas y Vigas Postensadas.
Super T Tablemac	19	24.000	210	20	Columnas, Vigas Cabezal, Losas, Zapatas.

Estos materiales se utilizan para los tableros de formaleta. El conjunto de la formaleta comprende estos tableros y largueros de refuerzo que van colocados sobre los tableros y cuya separación se obtiene de un previo chequeo estructural.

1.2.2 Acero

➤ **Propiedades físicas y químicas del concreto en obra.** Para la construcción del Puente Barranca-Yondo se utiliza acero de refuerzo No 3,4,5,6,7,8,9,10 y 11 un esfuerzo de fluencia de 4200 Kg/cm² y un esfuerzo máximo promedio de 6800 Kg/cm². Su composición química es la siguiente:

% Carbono = 0.27

% Magnesio = 1.14

% Fósforo = 0.020

% Silicio = 0.1

➤ Consideraciones constructivas

Oxidación. Se permite cierta cantidad de oxidación en los refuerzos si no esta floja o suelta y no hay perdida apreciable de área transversal. En realidad, la oxidación, al crear una superficie áspera, mejorara la adherencia entre el acero y el concreto. Las varillas deben estar libres de escamas de oxidación sueltas o incrustaciones de concreto, grasa, aceite u otro recubrimiento que pueda afectar la adherencia.

La resistencia a la corrosión no tiene índice específico. Algunos aceros estructurales de alta resistencia son aleados, generalmente con cobre, para producir alta resistencia al deterioro atmosférico. Estos aceros producen un oxido tenaz, que inhibe la corrosión adicional.

Colocación de refuerzo. Los refuerzos se deben soportar y amarrar en los lugares y posiciones señalados en los planos, se debe inspeccionar el acero

antes de colocar el concreto. Ni el refuerzo ni ninguna otra pieza que valla a quedar embebida se debe mover de su lugar antes o durante el vaciado de concreto. Las varillas no deben quedar torcidas ni tener curvaturas no especificadas al colocarlas. Las varillas torcidas o curvadas, incluso las que deformaron los operarios al caminar sobre ellas, pueden ocasionar que el concreto endurecido se agriete cuando las cargas de servicio tensionen las varillas.

Aunque es esencial que el refuerzo se coloque en el sitio exacto indicado en los planos, son necesarias ciertas tolerancias. Se recomienda que el refuerzo en las vigas y losas debe estar dentro de $\pm 1/4$ " de la distancia especificada desde la cara de tensión o de compresión. En el sentido longitudinal, pueden ser aceptables una tolerancia de ± 1 " en el corte y una tolerancia de ± 2 " en la colocación.

1.2.3 Presfuerzo. El método de presfuerzo dependerá del sistema constructivo empleado para la construcción de los voladizos sucesivos. Para la construcción de dovelas prefabricadas se utiliza el método de pretensado por su facilidad de construcción en serie, y por el contrario, para la construcción de dovelas in situ sobre formaleta móvil se utiliza el método de postensado. El postensado es el método que consiste en tensar los tendones y anclarlos en los extremos de los elementos después que el concreto ha fraguado y ha alcanzado su resistencia necesaria.

El postensado es más flexible que el pretensado y hace más eficiente el uso de las fuerzas de presfuerzo. Las pérdidas son menores y el curvado hacia arriba de los cables en los apoyos aumenta la resistencia al cortante, aunque involucra ductos y anclajes permanentes. Puede ser que el costo adicional de las unidades pequeñas no resulte conveniente, pero en unidades grandes el incremento proporcional será pequeño.

➤ **Tipos de postensado**

- Sistema adherido:

Los cables son adheridos al elemento de concreto mediante inyección de lechadas.

- Sistemas no adheridos:

Los cables están aislados del concreto por un recubrimiento de grasa y polietileno.

Previamente al vaciado del concreto se dejan ductos perfectamente fijos con la trayectoria deseada, lo que permite variar la excentricidad dentro del elemento a lo largo del mismo para lograr las flechas y esfuerzos deseados. Los ductos serán rellenados con lechada una vez que el acero de presfuerzo haya sido tensado y anclado. Esta lechada es una mezcla de cemento, agua, y algún aditivo que le brinde manejabilidad. Las funciones primordiales de la lechada

son las de proteger al presfuerzo de la corrosión y evitar movimientos relativos entre los torones durante cargas dinámicas. En el postensado la acción del presfuerzo se ejerce externamente y los tendones se anclan al concreto con dispositivos mecánicos especiales (anclajes) colocados en los extremos del tendón.

Las trayectorias del presfuerzo son curvas lo que previene los esfuerzos en los extremos del elemento.

➤ **Cables de postensado.** El concreto simple es débil para resistir esfuerzos de tensión. El refuerzo convencional solo puede usarse económicamente si se acepta fisuración en el concreto. El postensado es una solución alterna a este problema y permite que los miembros se mantengan sin fisuración en un rango de cargas más amplio, con ventajas adicionales de deflexiones pequeñas y una durabilidad mucho mayor, por su menor fisuración y la posibilidad de cubrir mayores luces, para la misma altura. El principio básico del postensado consiste en aplicar una fuerza de compresión en la sección, que contrarreste los esfuerzos de tracción producidos por la flexión. Este preesfuerzo es aplicado generalmente mediante una fuerza excéntrica. Estos cables de acero de alta resistencia denominados torones, pasan a lo largo del elemento y transmiten su fuerza en los extremos.

Cada toron esta compuesto por 7 cordones, constituidos por un alambre central con seis alambres exteriores colocados helicoidalmente con paso uniforme, mínimo 12 y máximo 16 veces el diámetro. Los torones vienen presentados en rollos de tres toneladas.

Figura 1.4. Cables para viga postensada



Los torones de postensado se tensionan posteriormente al endurecimiento del concreto y se anclan mecánicamente en los extremos, mediante cuñas.

En el caso del puente, los procesos de postensado se aplican a vigas y dovelas.

Las propiedades de los torones son lo siguientes:
 $F_{pu} = 18.900 \text{ Kg/cm}^2$

$E = 1.980.000 \text{ Kg/cm}^2$ $A_s = 1.40 \text{ cm}^2$ $\phi = 5/8''$

El acero de preesfuerzo que se utiliza en la obra es de baja relajación, y se utilizan así por reducir las perdidas por relajación, que es la disminución de la tensión en función del tiempo, bajo una deformación impuesta de magnitud constante.

Esfuerzos admisibles. Los esfuerzos no deben exceder los siguientes valores:

- Debido a la fuerza del gato en le cable máximo 0.80 fpu.
- Después de transferencia del prefuerzo máximo 0.74 fpu.
- En anclajes de cables postensados máximo 0.80 fpu

➤ **Concreto para presforzado.** El concreto que se utiliza para postensado debe tener una resistencia entre 5000 y 6000 lb/pulg² por las siguientes razones:

- Reducción de deformación elástica y flujo plástico, lo que genera reducción de perdidas de preesfuerzo.
- Soluciona la concentración de grandes esfuerzos en las zonas de anclajes.
- Permite desarrollar mayores esfuerzos de adherencia.

El concreto es, asimismo, un material elástico y tan pronto como es esfuerzo se aplica a la unidad, se acorta, por lo que reduce la longitud extendida del acero y, en consecuencia, el esfuerzo en el. A esta pérdida del presfuerzo se le llama deformación elástica del concreto, que es una función del modulo de elasticidad, E_c ; del modulo de elasticidad E_s del acero, y del esfuerzo en el acero en la condición de transferencia.

Las altas temperaturas del ambiente en la zona de la construcción del puente solicitan un concreto de 6000 lb/pulg².

➤ **Anclajes y equipos para postensado.** Las conexiones de anclaje son diferentes para los elementos pretensados y los postensados. Para los elementos pretensados, las conexiones sujetan los tendones en forma temporal contra las anclas en el exterior del elemento y pueden volverse a usar. En el postensado, las conexiones suelen anclar los tendones de modo permanente en los elementos.

En el mercado hay muchas conexiones patentadas para el anclaje en elementos postensados. Esas conexiones deben ser capaces de desarrollar toda la resistencia de los tendones con cargas estáticas y de fatiga. Las conexiones deben distribuir las fuerzas del postensado sobre una placa de apoyo y esta a su vez sobre el concreto. Se debe prever suficiente espacio en la zona de anclaje para las conexiones.

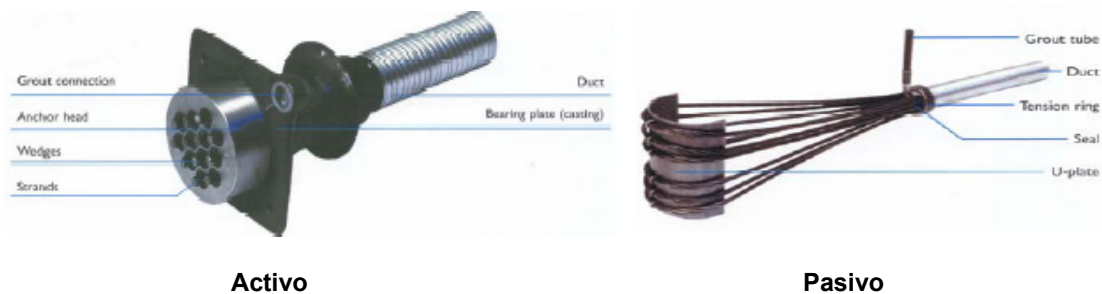
En la construcción del puente Barranca-Yondo se utilizan gatos tipos VSL que tienen la cabeza de tensado en el extremo, lejos de la unidad, de agarre central trasero. Cuando se ha logrado la fuerza requerida, se afloja la presión del gato y los torones jalan a las cuñas hacia los orificios ahusados. Las cuñas son los accesorios que agarran el cable para realizar el tensionamiento.

Figura 1.5 Cuñas para tensionamiento de cables.



Existen dos tipos de anclajes, anclajes activos y pasivos. Los anclajes activos son sobre los cuales se ejerce el tensionamiento directamente.

Figura 1.6 Tipos de anclajes para cables de postensado.



➤ **Vigas postensadas.** Las vigas contienen seis cables, cada cable esta conformado por 7 torones de diámetro 5/8” envueltos en un ducto galvanizado de protección

Para el tensionamiento de vigas en el puente Barranca-Yondo se realiza basado en ciertas especificaciones.

El tensionamiento se realiza en dos etapas:

Primer tensionamiento: Los primeros cuatro cables, se tensionan cuando la viga tiene una resistencia mínima de 290 Kg./cm².

Segundo tensionamiento: Los dos cables restantes y se tensionan cuando el concreto de la losa tiene una resistencia de 210 Kg/cm².

Figura 1.7. Tensionamiento de vigas con gato hidráulico.



El tensionamiento se realiza por medio de un gato por un solo lado. La tensión aplicada es de 145 toneladas por cable y una vez tensionados, se inyectan con lechada de cemento con relación agua/cemento menor o igual a 0.45.

Las vigas postensadas en el Puente Barranca-Yondo tienen sección en I por lo que necesitan el desarrollo de bloques de extremo. Cuando las vigas no tienen sección transversal rectangular maciza en la zona de anclaje, puede ser necesaria una sección agrandada del extremo, llamado bloque de extremo, para transmitir el presfuerzo de los tendones a toda la sección transversal de concreto a una corta distancia de la zona de anclaje. Los bloques de extremo también son deseables para transmitir las fuerzas verticales y laterales a los soportes y para dar un espacio adecuado para las conexiones de anclaje.

La transición del bloque de extremo a la sección transversal principal debe ser gradual. La longitud del bloque de extremo, desde el principio del área de anclaje hasta el principio de la sección transversal principal debe ser, por lo menos, de 24”.

- **Dovelas.** Los cables de las dovelas están compuestos por 19 torones y el tensionamiento se ejerce en los dos extremos. El tensionamiento máximo para cada cable es de 395 toneladas y solo se podrá tensionar hasta que la resistencia del concreto de la dovela sea mínimo 230 Kg/cm². Al igual que para las vigas, después del tensionamiento se inyecta una lechada de cemento con relación agua/cemento menor o igual a 0.45.

- **Acero de refuerzo.** El uso del acero de refuerzo ordinario es común en elementos de concreto presforzado. La resistencia nominal de este acero es $f_y=4200$ Kg./cm². Este acero es muy útil para:

- Aumentar ductilidad
- Aumentar resistencia
- Resistir esfuerzos de tensión y compresión.
- Resistir agrietamientos por maniobras y cambios de temperatura.
- Reducir deformaciones a largo plazo
- Confinar el concreto.

2. ACTIVIDADES DESARROLLADAS DURANTE LA PRÁCTICA

2.1 CONCRETO

2.1.1 Control de desperdicio. Durante la practica se llevaron registros de todos los vaciados en donde quedaron consignados para cada viaje de mixer la cantidad de concreto que carga, temperatura y asentamiento en la planta y en obra, hora de llegada a la obra y hora inicial y final de descarga.

La temperatura del concreto se media en la obra por medio de un termómetro de aguja tipo Weksher especial para realizar este tipo de mediciones. La temperatura en la planta promedio es de 24°C y en obra es de 22°C, este descenso se debe a que en obra la mezcla llega más homogénea y el hielo se ha esparcido más en la mezcla y a logrando la disminución de la temperatura. Este descenso en la temperatura ocurre en un periodo de tiempo de 2 min aproximadamente, que es el tiempo que demora la mixer en ir desde la planta hasta la obra. La toma de la temperatura en obra hace parte del control de calidad del concreto y es indispensable en estructuras de concreto masivo ya que con esto se controlara que el concreto en el momento del vaciado presente una temperatura adecuada y de esta manera reducir las posibilidades de fisuras en el concreto o de perdidas de resistencia.

Figura 2.1 Toma de temperatura del concreto.



El asentamiento de diseño para todos los concretos en la construcción del puente es de 8", aunque en obra este valor es variable, y esa variabilidad dependerá del tiempo y método de colocación. Los asentamientos que se han tomado en obra están entre 5 ± 1 ", rango que se considera dentro de lo normal, sin embargo, ocasionalmente se han producido inconvenientes cuando los asentamientos se salen de este rango, por ejemplo, en las dovelas se han alcanzado asentamientos hasta de 9", debido a la necesidad de un concreto mas fluido para evitar taponamientos en la tubería de bombeo.

Durante el vaciado siempre se verificara el asentamiento y las características del concreto, pruebas realizadas y además se elaboraran los cilindros de concreto para ensayos de resistencia. Si los asentamientos no son los indicados se debe devolver la mixer de concreto a la planta de mezclas para que allí por medio de aditivos el asentamiento del concreto se ajuste al requerido.

Figura 2.2 Medida de asentamiento en obra



Los asentamientos se pueden aumentar en la obra por medio de aditivos, sin embargo se debe tener cuidado con la dosificación, pues pueden haber efectos secundarios en el concreto.

Como parte del control de rendimiento de los procesos de vaciado se tomaron los tiempos de descargue de concreto y rendimientos para los vaciados de los elementos. Los resultados y observaciones se presentan en la tabla 2.1.

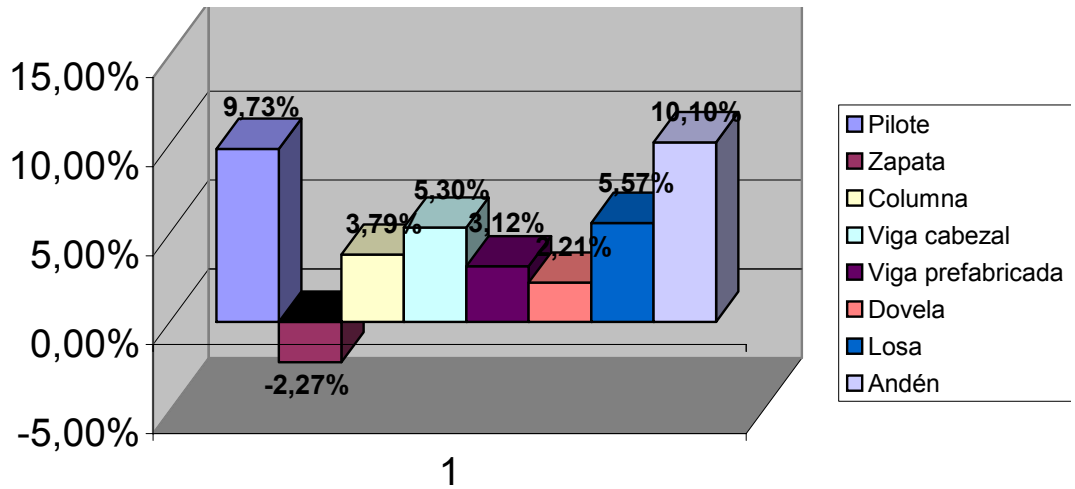
Tabla 2.1 Tiempos de descargue y rendimientos para los elementos del puente.

En el registro de control de desperdicio queda consignado el volumen total de concreto colocado y volumen teórico. Con estos datos se calcula el desperdicio de la siguiente manera:

$$Desperdicio(\%) = \left[\frac{Volumen_colocado}{Volumen_teorico} - 1 \right] * 100$$

En la figura 2.1 se muestran el desperdicio acumulado para todos los elementos del puente.

Figura 2.3 Desperdicio acumulado para cada elemento del puente



En la carta de compromiso de la empresa se contempla un desperdicio estimado de 5% para concreto de estructuras y un 25% para concreto de pilotes. El porcentaje de desperdicio esperado para pilotes es alto debido a que el método de vaciado de abajo hacia arriba desplazando agua y lodo bentonítico hacia el exterior ocasiona grandes pérdidas de concreto. Además en la parte superior de los pilotes queda una cabeza grande de concreto mezclada con el polímero que hay que demoler. Estos porcentajes están basados en la experiencia de obras anteriores con similares procesos constructivos. Se considera que por encima de estos porcentajes se estarían presentando pérdidas económicas.

El desperdicio negativo de la zapata se debe a que en los vaciados de algunas zapatas no ha estado calibrada correctamente la planta de mezclas. Es decir que la planta estuvo enviando carros a la obra de 6 m³ supuestamente, pero el volumen real era un poco mayor.

En el gráfico se puede observar que en los vaciados de Vigas Cabezal, Losas y Andenes se excede el desperdicio estimado.

Tabla 2.1. Tiempos de descargue y rendimientos de los vaciados de cada elemento

ELEMENTO	TIEMPO DE DESCARGUE (min)	RENDIMIENTO (m ³ /hora)	OBSERVACIONES
Dovela	33	13	El tiempo de descargue promedio es largo debido a problemas con la bomba, taponamiento de las tuberías de bombeo, y asentamientos inadecuados.
Losa	18	12	
Andenes	87	6	Vaciado con Grua. El tiempo promedio de ciclo de cargue, transporte y descargue de la grua es de 9 minutos
Viga Cabezal	16	14	
Columnas	12	11	
Viga postensada	18	9	En las fundidas entre los apoyos 16-17 se presentaron pérdidas de tiempo, debido a que la inestabilidad del terreno complicó el desplazamiento de las mixer
Pilotes	9	-	

El desperdicio en las losas aumento debido al incidente que ocurrió en el vaciado de la losa 3-4 en donde se rompió una pieza metálica de soporte diagonal de la formaleta (repisas).

Figura 2.4 Repisa de formaleta para losa



La medida que se tomo fue reforzar la repisa con otro elemento diagonal mas corto.

En las vigas cabezal influye la altura, a mayor longitud de tubería de bombeo se generan mayores perdidas de concreto debido a que la tubería queda llena al final del vaciado y este volumen representa altas perdidas de concreto.

En los andenes el desperdicio es el mas alto y esto se debe a que las cantidades de concreto son pequeñas y al ajustar el valor teórico al real se produce un incremento alto en el volumen teniendo en cuenta que en la planta de mezclas la mínima cantidad de concreto que se despacha es 0.25 m³.

En el sistema existía un registro donde se muestra la cantidad real y teórica y los desperdicios de todos los elementos de concreto desde el comienzo de la obra. Este registro se completo desde el inicio hasta el final de la práctica, presentando estos resultados a los profesionales de obra para evaluarlos.

El control de desperdicio de concreto es necesario llevarlo a cabo sobre todo en las obras grandes, ya que este procedimiento contribuye a racionalizar costos y a tomar medidas de prevención y corrección.

2.1.2 Formaleta.

➤ **Conceptos de diseño.** Una formaleta además de cumplir con su función primordial, que es la de dar forma definitiva a la sección del concreto, debe llenar una serie de requisitos a saber: Seguridad, economía, así como en la mayoría de los casos dar una buena apariencia estética.

A continuación se presentan las consideraciones de diseñado para la formaleta que se utiliza en la construcción del puente.

- **Cargas.** La formaleta debe soportar todas las cargas verticales y laterales que se apliquen hasta que la estructura sea capaz de soportarse por si misma.

Cargas Verticales

Muertas: Peso propio de concreto: 2400 Kg/m³
 Peso propio Formaleta: 50 Kg./m²

Vivas: Personal
 Equipos 200 a 250 Kg/m²
 Materiales

Carga total = Carga Muerta + Carga Viva

Cargas Laterales. Normalmente las cargas laterales que se presentan en un encofrado se deben a causa del viento, las fuerzas horizontales inducidas por el transito y frenado de equipos sobre la formaleta.

- **Empujes de concreto.** El concreto fresco tiene un comportamiento asimilable a un líquido y por lo tanto las presiones laterales que transmite tienen forma hidrostática.

Son varios los factores que afectan la presión lateral del concreto sobre la formaleta, entre ellas podemos enumerar:

- Velocidad de Vaciado
- Temperatura de la mezcla
- Peso del concreto
- Consistencia de la mezcla
- Efectos de Vibrado
- Dosificación
- Impacto de vertido
- Aditivos
- Forma y dimensión del encofrado.

El contenido de cemento es otra variable que incide en forma directa en la presión, temiéndose que a mayor contenido de cemento mayor empuje y viceversa.

Quizás los más importantes son los tres primeros, por ello se ampliara la información sobre estos.

➤ **Velocidad de Vaciado.** Es el mas importante de todos los factores ya que a mayor velocidad mayor presión y generalmente es el parámetro que regula el diseño de una formaleta bien sea de muro o de columna y en algunos casos de tapas en vigas profundas en losas.

Debe evitarse la descarga desigual en la formaleta. Los mejores resultados se obtienen si el concreto es descargado lo más uniformemente posible en una operación continua. Pizano S.A. que es uno de los proveedores de formaleta en la obra del Puente recomienda que el régimen de descarga o vaciado no exceda de dos metros por hora verticalmente y que solo deben utilizarse vibradores interiores, a menos que las formaletas hayan sido diseñadas para vibración externa.

➤ **Temperatura de la mezcla.** A mayor temperatura, menor tiempo de fraguado y obviamente menores presiones.

Inversamente a menor temperatura mas lento es el fraguado lo cual conlleva a mayores empujes.

Peso del concreto. Es el parámetro básico ya que la magnitud de la presión es función directa de este.

➤ **Evaluación de presión lateral**

Muros.

Presión máxima = 9800 Kg/m²

V = Velocidad de vaciado en cm/hora

T = Temperatura

Si $V < 2$ m/hora

$$P = 732 + \frac{720000 * V}{9 * T + 160}$$

Si $2 < V < 3$ m/hora

$$P = 732 + \frac{1060000 + 224000 * V}{9 * T + 160}$$

Si $V > 3$

$$P = 2400 * H$$

Columnas.

Presión máxima = 14700 Kg/m²

$$P = 732 + \frac{720000 * V}{9 * T + 160}$$

Donde: P = Presión (Kg/m²)
V = Velocidad de Vaciado (m/hora)
T = Temperatura (°C)
H = Altura de encofrado (m)

En el caso de columnas por lo general los velocidades de vaciado son altas y se puede evaluar con $P = 2400 * H$ sin afectar grandemente la economía del diseño; no obstante si se quiere refinar el calculo o si las condiciones lo exigen se trabaja con la otra formula.

Por el contrario en muros lo normal es tener bajas velocidades, luego se justifica trabajar evaluando estas ratas de vaciado e incluso la temperatura.

➤ **Diseño del encofrado**

Procedimiento:

Calculo de cargas.

Propiedades del material. En el proceso de diseño es muy importante conocer las propiedades físicas y mecánicas de la madera a saber: E (modulo de elasticidad), σ (tensión admisible a flexión), τ (esfuerzo cortante permisible), δ (deflexiones permisibles)

Calculo. Solicitaciones.

Flexión:

$$\sigma \cdot solicitante = \frac{6 * M}{b * d^2} \leq \sigma \cdot admisible$$

Donde: σ = Tensión de flexión en el elemento

M = Momento Flector

b = Ancho del elemento

d = espesor del elemento

Datos: Carga, Longitud, tensión admisible

Evaluar: Sección, Tensión solicitante

Cortante:

$$\tau \cdot solicitante = \frac{3 \cdot V}{2 \cdot b \cdot d} \leq \tau \cdot admisible$$

Deflexión:

$$\delta \leq \delta \cdot admisible$$

En formaletas para concretos arquitectónicos usar:

Según Peurifoy $\delta \text{ perm.} = L/270$

Por lo general en luces pequeñas prima la flexión y el cortante, en luces grandes la deflexión.

Calculo Tipo de Diseño de formaleta para el puente:

Diseño para formaleta de tramo de Columna de sección en I.

En el siguiente ejercicio se determinara la separación de los largueros que sirven de refuerzo a los tableros de madera para formaleta, diseñando a flexión, cortante y deflexión.

Datos:

Altura de Vaciado = 3 m

Tiempo de Vaciado = 2 m/hora

Temperatura = 20 °C

Material: Triplex Formaleta Super T de 19 mm.

Sección de largueros: 40*80 mm (Sección Comercial)

$$\sigma = 210 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\tau = 20 \text{ Kg/cm}^2$$

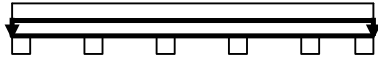
$$E = 24000 \text{ Kg/cm}^2$$

$$P = 732 + \frac{720000 \cdot R}{9 \cdot T + 160}$$

$$P = 732 + \frac{720000 * 2}{9 * 20 + 160} = 4967 \approx 5000 \text{ Kg / m}^2$$

Vista en planta de tablero de formaleta con tableros de refuerzo.

$$W = P * b$$



Flexión:

$$M_R > M_A$$

$$\frac{\sigma * b * d^2}{6} = \frac{w * L^2}{10}$$

Despejando L:

$$L = \sqrt{\frac{5 * \sigma * d^2}{3 * P}}$$

Reemplazando, L = 50.27 cm

Cortante:

$$\tau_R > \tau_A$$

$$\frac{2}{3} * \tau * b * d = \frac{5}{8} * w * L$$

Despejando L:

$$L = \frac{16 * \tau * d}{15 * P}$$

Reemplazando, L = 81 cm

Deflexión:

$$\frac{54 * 10^{-4} * w * L^4}{E * I} \leq \frac{1}{270}$$

Despejando L y Reemplazando en la ecuación

L = 26.60 cm

Con esto se puede ver que para escoger la separación entre ejes de largueros en la formaleta prevalecerá el diseño a deflexión ya que presenta la condición mas crítica y exige una menor separación entre largueros.

Como actividades dentro de la práctica se han elaborado modulaciones de formaleta para columnas de los apoyos 11,12 y 16 y para diafragmas extremos e intermedios entre apoyos 16-17. Para la modulación de las columnas se utilizaron tableros de material SuperT de 1.53*3.00. Para realizar estas modulaciones se necesito información de la geometría de estos elementos obtenida de planos, y se tuvo en cuenta algunas especificaciones de campo. Estas modulaciones eran enviadas al taller de carpintería que esta ubicado en la obra, para que fueran elaboradas.

2.1.3 Concreto masivo. En la construcción de la obra Puente Barranca Yondo algunos elementos de la estructura utilizan grandes cantidades de concreto, esto podría generar complicaciones si no se cumplen ciertas especificaciones, debido a las grandes cantidades de cemento que al reaccionar con el agua, producen el fenómeno de Calor de Hidratación

Figura 2.5 Zapata y columna del apoyo seis en la construcción del puente Barranca-Yondo



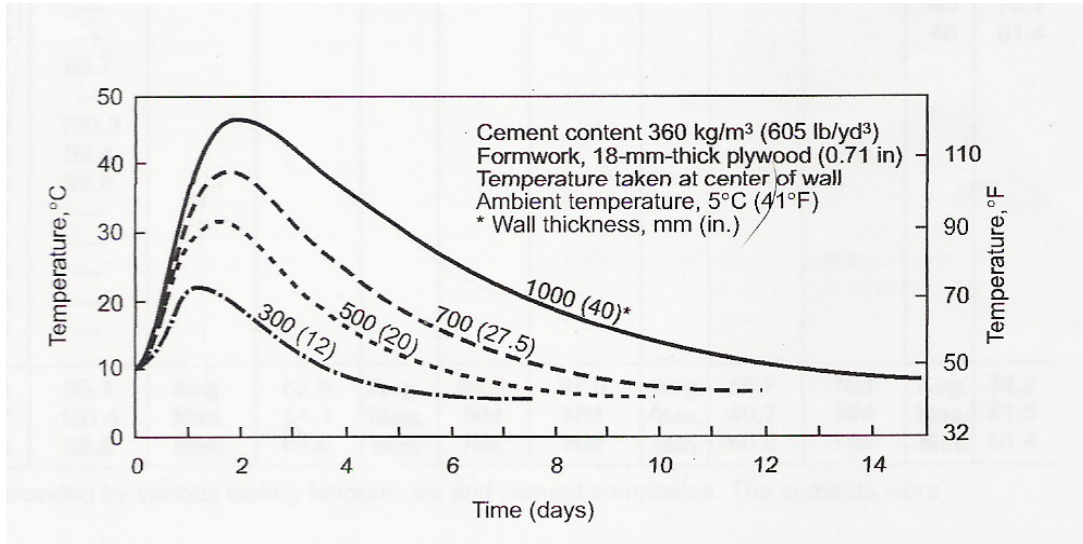
➤ **Definición de concreto masivo.** Según el ACI (American Concrete Institute) el concreto masivo es cualquier gran volumen de concreto, con dimensiones bastante largas como para que se requieran tomar medidas de control de la generación de calor y de esta manera evitar que el concreto se fisure.

Las reacciones entre el cemento y el agua producen calor en el interior de la masa de hormigón. Este calor desarrollado durante la hidratación puede dar lugar a choques térmicos y efectos de contracción que, en el caso de estructuras masivas pueden llegar a provocar un peligroso estado de fisuración de origen térmico.

➤ **Concreto y calor de hidratación.** El concreto masivo puede lograr altas temperaturas internas, sobre todo durante la construcción en climas cálidos, o si se utilizan grandes cantidades de cemento, como en el caso de la construcción del puente.

En la figura 2.4 se muestra una relación de temperatura de concreto con el tiempo, teniendo en cuenta el tamaño del elemento; en la gráfica se observa que a mayor sección del elemento, se alcanzan mayores temperaturas.

Figura 2.6 Relación de la temperatura del concreto con el tiempo.



Existen mezclas con altos contenidos de cemento que alcanzan temperaturas mayores a 55°C. Si el aumento en la temperatura del concreto es significativamente alto y se produce un enfriamiento acelerado del mismo, se generan esfuerzos internos de tensión en el concreto que pueden producir fisuras antes o después de alcanzar su temperatura normal en estado endurecido. Como regla general, la máxima temperatura recomendada en el interior y el exterior del concreto es de 20°C, para evitar la propagación de grietas.

La capacidad de formación de grietas en el concreto depende de varios factores, como la resistencia a tensión del concreto, coeficiente de expansión térmica, cambios internos de temperatura y restricciones externas sobre el elemento.

➤ **Calor de hidratación de cementos Pórtland.** El calor de hidratación del cemento es determinado de acuerdo a la norma ASTM C 186, (Standard Test Method for Heat of Hydration of Hydraulic Cement). En la siguiente tabla se muestran los valores de calor de hidratación para los diferentes tipos de cementos Pórtland. Aunque estos datos son muy limitados, confirman la tendencia general esperada: El cemento Tipo III presenta el mayor calor de

hidratación (88.5 calorías/gramo en 7 días), y el menor lo presenta en Tipo IV (55.7 calorías/gramo en 7 días).

Tabla 2.2 Calor de hidratación en los tipos de cemento.

Cemento Tipo I			Cemento Tipo II			Cemento Tipo II (Calor moderado)		Cemento Tipo III			Cemento Tipo IV			Cemento Tipo V	
No	7 días	28 días	No	7 días	28 días	No	7 días	No	7 días	28 días	No	7 días	28 días	No	7 días
1	82,0	-	16	77,7	101,4	32	67,6	36	88	99	38	60	-	41	81,5
2	85,6	-	17	82,6	88,8	33	65	37	89	95	39	57,3	-	42	66,5
3	81,6	-	18	88,7	89,4	34	54,3				40	49,7	65,5	43	79,3
4	80,2	-	19	88	-	35	64,7							44	80,4
5	78,4	-	20	73,6	-									45	76,1
6	88,3	90,2	21	88,5	-									46	61,4
7	88,2	106,1	22	77,1	89,7										
8	87,7	93,5	23	87,3	-										
9	88,9	97,7	24	81,9	100,3										
10	76,4	91,7	25	88,3	99,4										
11	84,4	91,7	26	86,5	96,8										
12	84,4	98,5	27	79,5	-										
13	83,5	-	28	79,4	-										
14	79,5	-	29	80	-										
15	83,0	-	30	80	-										
			31	77,6	-										

El cemento Pórtland desarrolla el calor de hidratación durante mucho tiempo. Por lo general la mayor tasa de liberación de calor ocurre durante las primeras 24 horas, y una gran cantidad de calor se desarrolla dentro los tres primeros días.

- **Factores que afectan el calor de hidratación.** Los materiales pueden ser seleccionados para minimizar o maximizar el calor de hidratación de acuerdo a la necesidad. Los cementos con altos contenidos de Silicato tricalcico, como el cemento Tipo III, posee mayor generación de calor que los otros tipos de cemento.

El silicato tricalcico y el aluminato tricalcico químicamente generan más calor, y presentan una tasa más rápida que el silicato dicalcico u otros componentes del cemento. El contenido de sulfato en su función de control de la hidratación del aluminato de calcio participa en la liberación de calor.

Una mayor finura del cemento proporciona una mayor superficie causando una aceleración de la reacción entre el cemento y el agua.

Otros factores que influyen en el desarrollo del calor en el hormigón son; el contenido de cemento, la relación agua cemento, la presencia de químicos y minerales y las dimensiones del elemento estructural.

En general a mayor contenido de cemento se produce mayor calor de hidratación. Según el artículo ACI 211.1, (Standard Practice For Selecting Proportions For Normal, Heavyweight, and Mass Concrete), la hidratación del

cemento genera un aumento en la temperatura del concreto entre 4.7°C y 7.0°C aproximadamente para 50 Kg. de cemento por metro cúbico de concreto en 18 a 72 horas.

Comparando dos concretos de igual contenido de cemento pero de diferentes relaciones de agua cemento, en las mezclas con mayores relaciones agua cemento, se crean mayores espacios microestructurales facilitando el desarrollo del calor de hidratación. El aumento del calor de hidratación en 7 días como resultado de un incremento en la relación agua cemento de 0.4 a 0.6 es de aproximadamente el 11% para un cemento Tipo I. Este efecto es mínimo para cementos de bajo calor de hidratación.

El efecto de la relación agua cemento en el calor es mínimo comparada con la influencia de la cantidad de cemento.

Las grandes temperaturas aceleran la rata de liberación de calor en poco tiempo. Los aditivos que aceleran la hidratación también aceleran la liberación de calor y los aditivos que retardan la hidratación, retardan también la liberación de calor. Algunos aditivos minerales pueden reducir considerablemente la rata de liberación de calor.

➤ **Especificaciones para reducir el calor de hidratación.** Cuando la generación de calor debe ser reducida al mínimo es recomendable utilizar cementos de bajo calor de hidratación, como el cemento Tipo II. No todos los cementos Tipo II tienen esta característica, de modo que se debe especificar la opción de calor moderada. El cemento Tipo IV de bajo calor de hidratación también puede ser utilizado como control de temperatura aunque no es tan fácil su disponibilidad.

La norma ASTM C 150 (Standard Specification For Pórtland Cement) especifica dos métodos independientes para controlar el calor de hidratación en el cemento. Para el primer método se requieren algunas especificaciones químicas. Para cemento Tipo II, la suma del contenido de silicato tricalcico (C₃S) mas el silicato de aluminio (C₃A) no debe exceder el 58 %. Para un cemento Tipo IV, los contenidos máximos de C₃S y C₃A son 35% y 7% respectivamente, manteniendo un contenido mínimo de silicato dicalcico del 40%.

El segundo método especifica algunos requerimientos físicos. Para el cemento Tipo II, el valor máximo de calor de hidratación debe ser 70 calorías/gramo en 7 días. Para el cemento Tipo IV, el máximo calor de hidratación esta en 60 calorías/gramo a los 7 días, y 70 calorías/gramo a los 28 días.

➤ **Control del aumento de temperatura en el concreto.** El aumento de la temperatura en el concreto puede ser controlado seleccionando materiales apropiados y utilizando ciertos métodos en el proceso constructivo. La norma

ACI 306R (Cold Weather Concreting), recomienda algunas temperaturas mínimas de colocación de la mezcla basada en las dimensiones del elemento de concreto y en la temperatura ambiente.

Para estructuras de concreto masivo, la norma ACI 305R, Hot Weather Concreting, recomienda controlar los procesos de mezcla y colocación del concreto para minimizar retrasos y escoger las horas del día de menor temperatura para realizar los vaciados. Existen numerosos métodos para controlar la temperatura en el concreto. Para atenuar los efectos térmicos generados por el proceso de hidratación de la pasta de cemento pueden tomarse diversas medidas, tales como las siguientes:

- Empleo de cementos de bajo calor de hidratación, aceptándose normalmente como tales aquellos cuyo calor de hidratación a 7 días es inferior a 70 calorías/gramo.
- Disminución de la temperatura interna del hormigón por alguno de los siguientes sistemas:
 - Reemplazo de parte del agua de amasado por hielo durante la mezcla, con lo cual se logra bajar la temperatura inicial del concreto colocado en obra.
 - Refrigeración del hormigón colocado por circulación de agua fría a través de serpentines embebidos en su masa.

Figura 2.7 Vertimiento de hielo en escarcha sobre los mezcladores



El puente Barranca Yondo ha presentado componentes estructurales como zapatas, pilas, vigas y dovelas que por sus dimensiones, requieren un control de la temperatura del concreto.

La técnica que se ha utilizado en esta obra consiste en la adición de hielo como parte del agua de amasado de la mezcla de concreto.

La cantidad necesaria de hielo a adicionar para garantizar una temperatura aproximada de 22°C en el concreto al momento de su colocación es en promedio 100 Kg/m³ para una temperatura ambiente en la zona que oscila entre 23 y 35°C.

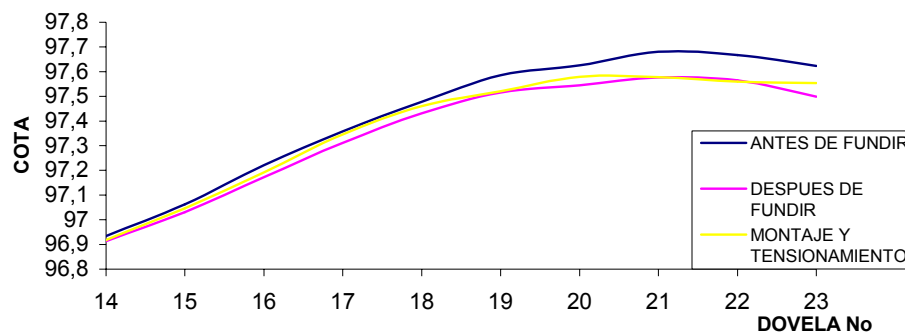
El cemento que se utiliza en la obra es de Tipo III, cemento que genera alto calor de hidratación y que por lo tanto no se considera el ideal para ser trabajado como componente del concreto masivo.

El hielo se transporta desde Barrancabermeja mediante camiones, en bloques. El hielo del camión se descarga sobre una trituradora, y de esta pasa directamente a las mixer. Posteriormente se descarga el agregado y parte del agua de amasado. Luego se completa la mezcla con el cemento y el agua faltante.

2.1.4 Niveles de dovelas. Como parte de las actividades de la practica se llevo a cabo un control de los niveles del voladizo, donde se registraban las cotas de las dovelas en diferentes puntos basado en nivelaciones topográficas en tres estados del proceso constructivo donde se marcan cambios de niveles; antes de fundir la dovela, después de fundir la dovela y después del montaje del carro y tensionamiento.

En las últimas diez dovelas se puede ver el siguiente comportamiento:

Figura 2.8 Niveles de dovelas



En el grafico se puede ver que antes de fundir las cotas son mayores, pero después de la fundida el nivel baja y con el tensionamiento el nivel tiende a subir nuevamente. En el momento del tensionamiento normalmente ya se ha realizado el avance del carro y el peso de este tiende a contrarrestar un poco los efectos de levantamiento de nivel del tensionamiento, aunque es mayor el esfuerzo del tensionamiento por lo que la cota tiende a aumentar.

El tensionamiento ejerce una presión que hace subir el nivel, sin embargo, como se muestra en la grafica entre mas largo sea el voladizo menos efecto tendrá el tensionamiento sobre el nivel llegando a un punto en el que el efecto del tensionamiento del nivel se hace casi sin relevancia sobre el nivel del voladizo.

Entre mas largo sea el voladizo mayores serán las diferencias entre las cotas antes y después de fundidas las dovelas ya que se produce un momento mayor y el avance del carro producirá a su vez un mayor momento que contrarrestara el efecto del tensionamiento.

2.1.5 Cantidades de obra. Durante la práctica se calcularon las cantidades de obra de todos los elementos que se fundieron. Este cálculo se realizaba el día anterior a la fundición del elemento y se enviaba la solicitud de concreto a la interventoria en un formato especial. En esta solicitud también se especificaba la resistencia del concreto, el tamaño máximo del agregado y el método de colocación. Además de esto se pasó a interventoria y a la planta de mezclas una programación semanal de concreto donde se especificaba las cantidades de concreto de cada elemento que se iba a fundir en la siguiente semana, y sus especificaciones. Estas programaciones semanales de concreto se utilizan para que la empresa que elabora el concreto organice sus recursos, asimismo, en todas las obras de construcción esta programación es fundamental para trabajar conjuntamente bajo objetivos a corto plazo y de esta manera favorecer la productividad. El ingeniero será el encargado de liderar los mecanismos para el cumplimiento de dichos objetivos. El cálculo de estas cantidades de concreto estuvo basado en información de planos.

2.2. ACERO

2.2.1 Cantidades y despieces de obra. El peso total de acero para la construcción del puente es de 2247.84 Ton aprox. Dentro de las labores realizadas en la práctica se despiezaron los siguientes elementos:

Dovelas = 16,17,18,19,20,21,22,23,24 Voladizos 1-2-3 y 4

Peso despiezado = 200.50 Ton.

Peso Total de dovelas voladizos 1-2-3 y 4 = 530.38 Ton.

Vigas postensadas = (15 unidades)

Peso despiezado = 47.9 Ton.

Peso Total Vigas Postensadas = 124.54 Ton.

Losas = Entre apoyos 12-13

Peso despiezado = 35.41 Ton

Peso Total Losas = 460.33 Ton.

Peso total despiezado = 183.56 Ton.

Estos despieces se elaboraron con base en información de planos y eran digitados en un programa que maneja la empresa, y por medio del cual eran enviados los pedidos de acero a la planta de figuración de Medellín, Alguna información de planos debe ser revisada ya que en el diseño se pueden pasar por alto ciertos detalles constructivos. Por ejemplo siempre se debe revisar que los recubrimientos sean los necesarios para que el acero no vaya a quedar muy cerca de la superficie. Siempre es recomendable revisar en obra todas las cantidades, longitudes y diámetros de los aceros de diseño, y esta revisión era precisamente la labor más importante y de mayor cuidado en el ejercicio de despieces durante la práctica.

A manera de información se consigna que en la construcción del puente se han utilizado en promedio las siguientes cantidades de acero por metro cúbico de concreto:

- Dovelas = 233.50 Kg.
- Vigas Postensadas = 96.7 Kg.
- Zapatas = 122 Kg.
- Pilotes = 135 Kg.
- Columnas = 235.4 Kg.
- Vigas Cabezal = 127.4 Kg.
- Losas = 241.7 Kg.

Estas cantidades no son valores que se tengan como norma para todas las obras, son las cantidades del puente Barranca-Yondo, sin embargo con ellas se puede establecer una proporción de cantidades, además que ofrecen una idea de las cantidades de acero que se requieren para los volúmenes de concreto en puentes construidos por voladizos sucesivos.

En estos resultados de cantidades se muestra que la parte de la superestructura del puente requiere mayor cantidad de acero que la infraestructura.

2.2.2 Control de desperdicio. El desperdicio de acero en la obra debe ser bajo, dado que ya existe toda la información de diseño, sin embargo algunas veces se detecta la necesidad de adiciones y cambios. Unos de los objetivos de la carta de compromiso de la obra es optimizar los recursos para conseguir los resultados económicos esperados y bajo este contexto se estimo un desperdicio máximo de acero del 2 %. Por tal motivo se ha llevado un registro en donde se determina el desperdicio por cada mes. En este registro se consigna el peso total de cada pedido de acero por mes y se compara con el peso total aprobado por Interventoría. En la tabla 2.3 se muestran los resultados de los desperdicios de los últimos meses.

Tabla 2.3 Desperdicio de acero de los últimos meses

PERIODO	DESPERDICIO	OBSERVACIONES
Junio	1,65%	
Julio	3,58%	Pedido de acero adicional para pilote 83 apoyo 15
Agosto	1,02%	
Septiembre	1,69%	
Octubre	0,43%	
CONSOLIDADO	2,85%	

El consolidado de desperdicio es alto y esto se debe principalmente por acero adicionales para aros constructivos de pilotes ya fundidos que no están dentro del diseño.

Una fuente importante de desperdicio de acero en la obra es el utilizado para procedimientos constructivos, por ejemplo, para la formaleta se requieren tensores de acero de 3/8", o en accesorios para cumplir el recubrimiento de los aceros.

2.2.3 Trazabilidad. La trazabilidad trata de un registro sistemático en el cual se escribe todo el acero que llega a la obra, estos aceros llegan a la obra con certificados de calidad, y con esto poder controlar el acero pedido versus el descargado en obra.

En la fecha de la terminación de la práctica la trazabilidad del acero es la siguiente:

- Se ha realizado el pedido de 15 vigas postensadas, a la fecha ya se ha utilizado acero para 6 vigas, y en patio se encuentra el restante para 9 vigas.
- El acero para la losa 12-13 se encuentra completo en patio.
- Para el apoyo 7 ya esta en obra el acero de zapata y columna.

- En obra se encuentra el acero para la zapata, columna y viga cabezal del apoyo 15.
- En obra se encuentra el siguiente acero de stock:

Tabla 2.4 Acero de stock

DIAMETRO (Pulgadas)	LONGITUD (m)	CANTIDAD
1	12	7
3/4	12	10
5/8	12	43
1/2	12	37
3/8	12	600

*El acero de stock es aquel que se debe mantener en obra como reserva.

- Los certificados de calidad del acero por diámetro están completos en obra y han sido entregados a Interventoría.

La trazabilidad del acero es un importante mecanismo de control sobre los recursos, ya que por medio de un registro sistemático, se puede conocer con que acero se cuenta en la obra, y de esta manera poder optimizar estos recursos.

2.3 PRESFUERZO

2.3.1 Alargamientos. En el diseño se establece el alargamiento teórico para cada cable, aunque estos alargamiento deben ser recalculados debido a que las áreas y módulos de elasticidad de diseño difieren un poco de los reales.

Los alargamientos se han recalculado de la siguiente manera:

$$\delta = \frac{PL}{AE} \quad (\text{Para alargamientos dentro del rango elástico})$$

Como la carga y la longitud de diseño y reales son iguales entonces:

$$P * L = \delta_{real} * A_{real} * E_{real} = \delta_{teorica} * A_{teorica} * E_{teorico}$$

Entonces:

$$\delta_{real} = \delta_{teorica} * \frac{A_{teorica} * E_{teorico}}{A_{real} * E_{real}}$$

Ejemplo:

Cable 51(19 torones) Dovela 18

El cable esta conformado por:

- 7 Torones de: A = 141.87 mm²
 E = 19.390 Kg/mm²
- 12 Torones de: A = 142.25 mm²
 E = 19.310 Kg/mm²

El área real y modulo real son los promedios:

$$A_{prom} = \frac{7*141.87 + 12*142.25}{19} = 142.11$$

$$E_{prom} = \frac{7*19390 + 12*19310}{19} = 19340$$

$$A_{teor} = 140 \text{ mm}^2$$

$$E_{teor} = 19.500 \text{ Kg/mm}^2$$

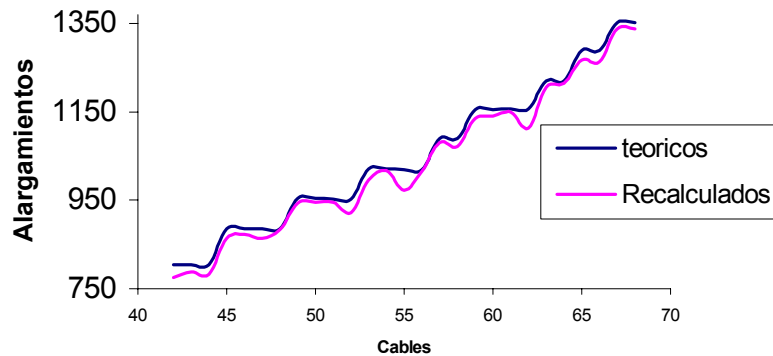
$$\delta_{teor} = 166.34 \text{ cm.}$$

$$\delta_{real} = 166.34 * \frac{140*19500}{142.11*19340} = 165.23 \text{ cm}$$

Estas deformaciones reales son las que se utilizan para comparar con las deformaciones que se miden en el momento del tensionamiento del cable.

Este ajuste es necesario ya que en el momento del tensionamiento se debe conocer la elongación teórica, y la elongación de planos no es la real ya que las propiedades de los torones consideradas en el diseño no son las mismas que las de los torones que llegan a la obra.

Figura 2.9 Alargamientos de cables del voladizo



En la gráfica se compara los alargamientos teóricos con los recalculados para los últimos cables, y se puede observar que los recalculados son menores, y esto se debe principalmente a que las áreas reales de los cables son mayores que el área teórica,

Los alargamientos reales en campo según el diseño tienen el siguiente rango de aceptación:

- Dovelas: entre el 93% y 107% del alargamiento teórico
- Vigas: entre el 96% y 107% del alargamiento teórico

Siempre se tendrá que ir inspeccionando en el momento del tensionamiento que la deformación de los cables esté dentro de este rango, de lo contrario el ingeniero deberá tomar las medidas necesarias o consultar con el diseñador.

Estos datos de elongaciones teóricas y rangos de aceptación de todos los cables fueron suministrados al operador del equipo del tensionamiento y a los inspectores de la interventoría.

El tensionamiento de los cables se realiza por medio de un gato y una bomba que consta de un manómetro que va marcando la tensión ejercida en el cable.

Figura 2.10 Gato hidráulico



La presión máxima que se debe aplicar a los cables se obtiene de:

Para los cables de dovelas de 19 torones,

- Fuerza máxima aplicada = 395 Ton/cable
- Área de tensionamiento = 804 cm² (área del gato)

$$Pr esion_maxima = \frac{Fuerza}{Area}$$

$$= 491.3 \text{ Kg/cm}^2$$

Como la presión en el manómetro esta expresada en bares,

$$Presion_maxima = \frac{395000_Kg}{804_cm^2} \quad 1 \text{ Bar} \longrightarrow 1.0196 \text{ Kg/cm}^2$$

La presión es de 482 bar

La presión esta afectada por perdidas debidas al gato, estas perdidas representan el 3 %.

Presión máxima aplicada = 497 bar

Para los cables de vigas: (7 torones)

- Fuerza máxima aplicada: 250 Ton
- Area de tensionamiento: 500.3 cm² (área del gato)

→ Presión máxima aplicada = 505 bar

Para demostrar que las deformaciones de los cables están dentro del rango se tiene:

$$E_s = 18.900 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{Área de toron} = 1.40 \text{ cm}^2$$

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$\sigma = \frac{395000}{1.40 * 19} = 14850_Kg/cm^2$$

$$F_{max} = f_c * \text{Area}$$

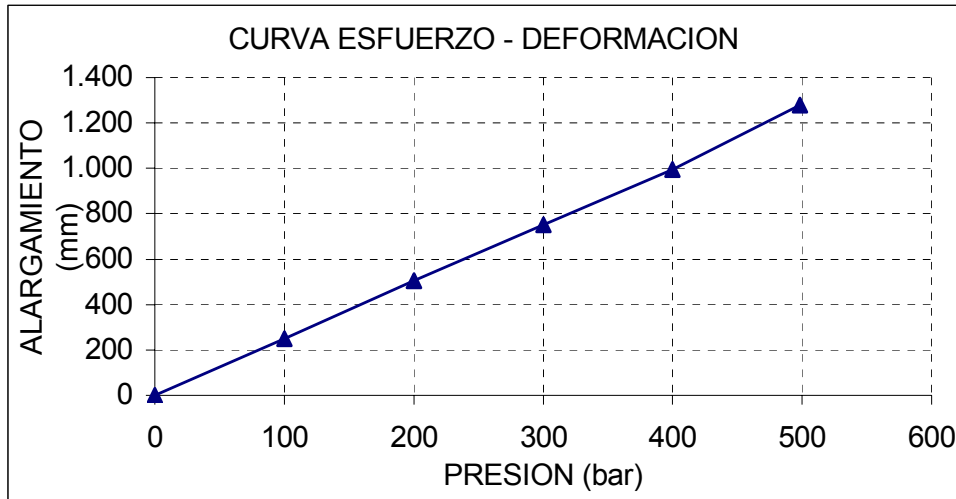
$$F_{max} = 18900 * 1.4 * 19$$

$$F_{max} = 502.7 \text{ Ton}$$

Con la información precedente de campo se completa un registro en el cual se muestra la curva esfuerzo-deformación con el fin de comprobar gráficamente el comportamiento elástico de los cables.

A manera de ejemplo la curva del cable 65 es:

Figura 2.11 Curva esfuerzo deformación de cables de postensado



En la gráfica se observa que los alargamientos son proporcionales a la presión ejercida, es decir, la curva se encuentra dentro del rango elástico.

Los alargamientos obtenidos en los tensionamientos, en su mayoría han resultado dentro de los rangos establecidos por el diseño, a excepción de algunos cables en los que se obtuvieron alargamientos menores al mínimo, esto posiblemente se debe a la fricción que se produce entre los cables y los ductos, cuando los cables entran difícilmente, sumado a ello se pudieron haber presentado rompimientos en los ductos de los cables por donde podría circular el concreto, endurecerse dentro del ducto y disminuir la tensión en el cable.

Cuando se ha aplicado la tensión máxima al cable y no se ha obtenido la elongación teórica, se puede aumentar un poco el esfuerzo de tensión hasta que se alcance la elongación mínima aceptada dado que normalmente se manejan factores de seguridad altos, aunque en lo posible se debe descartar esta opción. Sin embargo este tipo de acciones debe ser consultado previamente al diseñador.

Las pérdidas en los cables no ocurren solo por fricción, también se presentan reducciones por corrimiento del anclaje, acortamiento elástico del concreto, flujo plástico del concreto, retracción de fraguado del concreto y relajación del esfuerzo del tendón. Es por estos efectos que la fuerza de presfuerzo efectiva que actúa en el elemento es menor que la fuerza aplicada por el gato. Esta reducción de la fuerza efectiva, llamada pérdida, puede llegar a ser mayor al 30% en los elementos comúnmente empleados.

2.3.2 Trazabilidad. En el proceso de trazabilidad de cables se llevo un registro sistemático que se completo cada vez que cortaban cables para colocar en las

vigas o dovelas. Este registro se muestra en el Anexo 1. Con este registro se puede llevar el seguimiento sobre los carretes de torones que se han utilizado y para que cables. Con base en esta los datos esta trazabilidad se puede recalculan las elongaciones teóricas de lo cables, ya que se obtienen las propiedades reales como área y modulo de elasticidad. Con el fin de optimizar recursos, se iba orientando a los maestros sobre que carretes se debía utilizar para cada corte, de manera que el desperdicio fuera el mínimo y que longitudes se debía cortar. Las longitudes de corte se obtuvieron de planos.

2.4 ANALISIS DE RENDIMIENTO DE MANO DE OBRA EN LA CONSTRUCCION DE PUENTES POR VOLADIZOS SUCESIVOS

Diariamente se ha dado un recorrido por la obra tomando nota del número de oficiales y ayudantes por cada actividad.

La jornada de trabajo es de 6:00 AM a 6:00 PM, y un total de 11 horas diarias trabajadas.

Un día normal tiene el siguiente horario de trabajo:

- ✓ Inicio de labores: 6:05 AM (Después de charlas de 5 minutos)
- ✓ Almuerzo de 12:00 a 1:00 PM
- ✓ Descansos de 8:00 AM a 8:15 AM y 3:00 a 3:15 PM

El rendimiento se calcula para actividades relacionadas con concreto, acero y cables de postensado en forma independiente.

2.4.1 Concreto. Las actividades que se relacionan como actividades de concreto son transporte, encofrados y desenfocados de formaleta, transporte e instalación de andamios para fundir columnas y vigas cabezal, vaciados y resanes. El rendimiento se expresa en unidades de Horas-hombre/m³ y se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Rendimiento} = \frac{(\text{NoOficiales} + \text{NoAyudantes}) * 11}{\text{Volumen_de_concreto}}$$

Con los datos que se han recopilado a diario se ha completado un registro de rendimientos que muestra los siguientes resultados:

Tabla 2.5 Resultados de rendimientos para actividades relacionadas con concreto

Rendimiento ponderado presupuestado 16 H-h/M3

	H-h	Volumen (M3)	Rendimientos H-h/M3	Presupuesto H-h/M3
Zapatas	4975	2.289,92	2,17	13,00
Columnas	8442	403,24	20,94	13,00
Vigas Cabezal	3882	387,50	10,02	23,00
Losas	4340	404,00	10,74	19,00
Viga Cajon	46245	2.482,90	18,63	23,00
Vigas Postensadas	10244	434,00	23,60	23,00
Andenes	1015	49,50	20,51	10,00
TOTAL	79143	6.451,06	12,27	16,00

Los rendimientos para zapatas, losas y vigas cabezal han superado ampliamente el rendimiento presupuestado. Sin embargo las columnas, viga cajón, vigas postensadas y andenes no han alcanzado el rendimiento presupuestado.

➤ **Columnas.** En las columnas 9, 10, 11, 12, 13,14 se presentan bajos rendimientos debido a demoras en el proceso de colocación de la formaleta. En la instalación de los andamios se dispuso de tiempos relativamente largos. Los rendimientos más bajos se presentan en los primeros apoyos.

➤ **Vigas Postensadas.** Previamente a la construcción de las vigas postensadas se realizan procesos que han influido en los resultados de los rendimientos de mano de obra. Actividades como la construcción de pistas, izaje de las vigas y colocación de andamios en el lado de Barranca y el montaje de las cerchas en el río, se han incluido como actividades de formaleta. Sumado a esto también se ha tenido en cuenta las actividades de resanado del concreto que han avanzado a paso lento.

➤ **Viga cajón.** El rendimiento de las últimas dovelas estuvo dentro del rango aceptable, aunque en la zona sobre cimbra y en las últimas dovelas se presentaron bajos rendimientos debido a las mayores exigencias del carro de avance, asimismo se requirió de bastante tiempo para el montaje de la formaleta.

Otro factor importante que ha influido en el rendimiento han sido las demoras que se presentaron en los vaciados por problemas con la bomba y la tubería de bombeo. A su vez en ocasiones se presentaron demoras en el fraguado del concreto producidas por errores en la dosificación de aditivos tratando de

mantener ciertos asentamientos requeridos, lo que obligaba a suspender momentáneamente las actividades del movimiento del carro de avance.

En las losas aunque el rendimiento consolidado es aceptable, se presentaron demoras con el armado de la formaleta de la losa entre apoyos 4-5, por demoras con la nivelación de los tableros de la plataforma.

2.4.2 Acero. Las actividades de acero comprenden el transporte armadura y limpieza si es necesario. El rendimiento para acero se expresa en Horas-hombre/Tonelada, y se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Rendimiento} = \frac{(\text{Horas} - \text{hombre}) * 1000}{\text{Kilos_Armados}}$$

Los resultados son los siguientes:

Tabla 2.6 Resultados de rendimientos para actividades relacionadas con acero.

Rendimiento Presupuestado		60 H-h/Tn	
Descripción	Total H-h H-h	Cantidad Kg	Rendimiento promedio H-h/Tn
Pilotes	15.350	944.028	16,26
Zapatas	4.260	261.761	16,27
Columnas	4.540	153.507	29,58
Losas	1.400	40.300	34,74
Viga Cabezal	2.400	45.164	53,14
Vigas Postensadas	2.380	48.000	49,58
Viga Cajon	14.890	248.729	59,86
Total	45.220	1.741.489	25,97

En la tabla se puede ver que los rendimientos son aceptables, sin embargo el rendimiento de la viga cajón esta casi en el limite y esto se debe a que el rendimiento en la primera dovela fue bastante bajo.

2.4.3 Presfuerzo. Las actividades relacionadas son corte de cables, enfilado, tensionamiento e inyección de los cables con lechada. El rendimiento se expresa en Horas-hombre/Ton y se calcula con la misma expresión para calcular rendimientos y actividades de acero.

Los resultados de datos obtenidos de campo son los siguientes:

Tabla 2.7 Resultados de rendimientos para actividades relacionadas con presfuerzo

Rendimiento Presupuestado		60 H-h/Tn	
Descripción	Total H-h H-h	Cantidad Kg	Rendimiento promedio H-h/Tn
Cables Dovelas	1.450	25.078	57,82
Cables Vigas	605	13.581	44,55
<i>Total</i>	<i>2.055</i>	<i>38.659</i>	<i>53,16</i>

Los rendimientos de cables de las últimas dovelas han estado un poco bajos. Esto radica en los inconvenientes que se han presentado en el enfilado de los torones debido posiblemente a la mayor fricción de los torones (19 torones conforman un cable) con el ducto que los cubre, dado que las longitudes de los cables son mayores en las últimas dovelas. Sumado a ello el proceso de tensionamiento de los cables se ha hecho un poco más lento también por el aumento de longitudes de los cables y la presión máxima tuvo que ser aumentada para que el alargamiento estuviera dentro del rango aceptable.

2.4.4 Análisis de presupuesto. El análisis de rendimientos de mano de obra se utiliza como base para establecer presupuestos. A continuación se describe un análisis de presupuesto basado en los rendimientos que se aplican a la construcción del puente.

Tabla 2.8 Comparación de horas trabajadas versus horas facturadas en una semana normal.

RECARDO	HORAS	L	M	M	J	V	S	D	TOTAL HORAS TRABAJADAS	TOTAL HORAS FACTURADAS
1	H.O	10	10	10	10	8			48	48
1.25	H.E.D	1	1	1	1	3	11		18	22.5
1.75	H.E.F							8	8	14
	H.E.N									
1	COMP							8	-	8
TOTAL									74	92.5

Tabla 2.9 Comparación de horas trabajadas versus horas facturadas en una semana con lunes festivo.

RECARDO	HORAS	L	M	M	J	V	S	D	TOTAL HORAS TRABAJADAS	TOTAL HORAS FACTURADAS
1	H.O		10	10	10	8			40	40
1.25	H.E.D	1	1	1	1	3	11		15	18.75
1.75	H.E.F	8						8	16	28
	H.E.N									
1	COMP							8	-	8
TOTAL									71	94.75

Donde:

H.O: Horas ordinarias

H.E.D: Horas extras diurnas.

H.E.F: Horas extras festivos

H.E.N: Horas extras nocturnas.

COMP: Compensatorio de día Domingo.

Factor de recargo = $92.50/74 = 1.25$ o 1.334 para el caso de semanas con lunes festivos. Este factor es el recargo por horas extras y domingos.

En el presupuesto se debe tener en cuenta las prestaciones y pagos obligatorios por ley para cada trabajador. Estos pagos corresponden a salud, riesgos profesionales, pensión, cesantías, vacaciones, primas y pagos a entidades como el SENA y el ICBF. Estos pagos corresponden a un valor entre el 55 y el 70% del valor básico pagado al trabajador.

A manera de ejemplo, el rendimiento estimado para concretos en la obra del puente es de 16 h/m³. Para estimar este valor se tuvo en cuenta la experiencia en otras obras, además de un análisis de precios unitarios.

El valor total para 1 m³ de concreto se calculara con la siguiente expresión:

Valor total = (Básico trabajador por hora)*(Rendimiento)*(Factor de recargo por horas extras)*(Factor de prestaciones).

Considerando lo siguiente:

Básico del trabajador = \$1667 la hora

Factor de prestaciones = 1.60,

El valor total será:

V total = $(\$1667/hora)*(16 h/m^3)*1.25*1.60$.

V total = \$53.344/m³ de concreto (por rendimientos de mano de obra).

En el caso del acero, para el cual se estimo un rendimiento de 60 horas/tonelada, se tiene:

$$V \text{ total} = (\$1667/\text{hora}) \cdot (60 \text{ h/ton}) \cdot 1.25 \cdot 1.60$$

$$V \text{ total} = \$ 200.040 \text{ por tonelada.}$$

El análisis de rendimientos de mano de obra además de ser un método valido como control presupuestal sirve como supervisión del avance de obra de los grupos de trabajo, ya que con los registros se puede conocer el ritmo de trabajo de cada cuadrilla y observar si se encuentran dentro de los rangos normales.

2.5 MANUAL DE FUNCIONES DE UN INGENIERO RESIDENTE

2.5.1 Objetivo. Establecer por medio de un manual las funciones principales de un ingeniero civil en obra.

2.5.2 Alcance. Este documento esta dirigido a profesionales y estudiantes de ingeniería civil, a fin de mostrar el alcance de las actividades a realizar por un ingeniero residente de obra.

2.5.3 Introducción. Mas que en cualquier otro negocio, en la industria de la construcción el éxito o el fracaso esta determinado por la calidad de la dirección. La administración de la construcción es fundamentalmente la dirección de las personas, la capacidad para conservar a la gente unida en un grupo compacto con respecto a su jefe y a cooperar uno con otro.

El ingeniero residente se encarga de toda la construcción, incluso dirige las fuerzas productivas, recomienda los métodos de construcción, y selecciona el personal, equipo y materiales necesarios para realizar el trabajo.

El ingeniero residente supervisa y coordina el trabajo de los diversos maestros encargados de los oficios. El ingeniero informa a la gerencia o, en casos donde la magnitud o la complejidad del proyecto lo justifica, a un gerente de proyecto, quien a su vez, informa a un gerente general.

2.5.4 Supervisión de obra. Probablemente una de las principales funciones de un ingeniero residente es la supervisión de obra. Corresponde al ingeniero controlar que se sigan las especificaciones técnicas para cada actividad que se valla a realizar. Todos los detalles constructivos grandes o pequeños deben ser dirigidos por el ingeniero.

Aunque en la mayoría de las obras debe existir uno o varios maestros encargados que permanecen allí durante todo el tiempo, no es conveniente la ausencia del ingeniero del campo de trabajo, ya que este para controlar los

procedimientos y la producción debe recorrer la obra constantemente. Además de esto el ingeniero tendrá que reunir a su o sus maestros donde exista una planeación de actividades y un control de los recursos y de la producción. Es recomendable que estos comités técnicos se realicen por lo menos una vez a la semana con el fin de que los maestros trabajen bajo ciertos objetivos y parámetros. El ingeniero deberá liderar mecanismos y estrategias para el cumplimiento de los objetivos propuestos.

Algunas de las actividades que se deben realizar normalmente en los recorridos de obra son:

- Corroborar si algunos detalles constructivos como armado de acero, traslapes, cantidades, recubrimientos, etc, se ejecutan de acuerdo a los planos o información de diseño.
- En fundiciones de elementos se debe comprobar que el concreto llegue al sitio de vaciado en las condiciones de calidad y cantidad necesarias.
- Coordinar y planear actividades con los maestros de obra.

2.5.5 Materiales y equipos necesarios para la obra. El ingeniero residente deberá estar pendiente de los materiales y los equipos que se requieran en la obra, optimizando los recursos cuidando de no afectar la normal productividad.

➤ **Materiales.** En las obras civiles los materiales más utilizados son el concreto y el acero, por lo tanto representan un gran porcentaje del presupuesto de la obra. Por ello es de vital importancia que el ingeniero optimice estos recursos de la mejor manera. Las cantidades de estos elementos deben ser obtenidas de información de diseño y en el caso del concreto se deben estimar ciertas pérdidas ocasionadas en el vaciado a la hora de calcular la cantidad real que se necesita, aunque este desperdicio debe ser controlado para no llegar a tener pérdidas económicas que se salgan del rango esperado. Cuando un ingeniero pretende realizar una actividad, por ejemplo, la ejecución de una columna o una viga, siempre debe programar los pedidos de materiales con el tiempo necesario, para que en el momento de ejecutar las labores no vayan a haber atrasos injustificados por falta de materiales.

➤ **Equipos.** Existen dos tipos de equipos utilizados en las obras; equipos livianos y pesados. Entre los livianos podemos encontrar compresores, compactadores pequeños (ranas), equipos de corte y soldadura, entre otros, y entre los equipos pesados se puede encontrar el buldózer, la grúa, cargadores, retroexcavadoras, grandes compactadores, etc. Estos equipos muchas veces se hacen indispensables en las obras, ya que reducen el tiempo de ejecución de algunas actividades, y en ocasiones existen ciertas labores que no se podrían hacer sin ellas. Por lo tanto el ingeniero debe conocer las

características y funcionamiento de cada equipo para optimizar el tiempo y los costos de utilización. Aunque algunos equipos traen tablas con sus rendimientos, es recomendable que el ingeniero los determine teóricamente para que estos se acomoden más a las características del proyecto.

En el caso de alquiler de equipos grandes, para efectos de control presupuestal, el ingeniero deberá realizar los mecanismos necesarios para que los equipos no estén sin trabajar por largos periodos de tiempo.

2.5.6 Control de cantidad de personal. El ingeniero será el responsable de decidir que cantidad de trabajadores deben permanecer laborando de acuerdo al presupuesto y al avance de la obra. En las obras de construcción normalmente a medida que avanza la obra, el trabajo también va disminuyendo, por lo tanto al final de la obra el número de trabajadores es menor al que inicio las obras. También en ocasiones se presentan altibajos en donde el trabajo disminuye por momentos en la obra y vuelve a aumentar. Por esto el ingeniero deberá conocer claramente que personal necesita para cada actividad y organizarlo por cuadrillas en un trabajo conjunto con el maestro encargado y hacer el seguimiento de los rendimientos de cada cuadrilla.

2.5.7 Diseños, cálculos y análisis de datos de campo. En muchas empresas los ingenieros residentes también son útiles en el campo del diseño. Por ejemplo, si se ha de instalar un nuevo equipo en una planta ya existente, no solamente se le debe proporcionar espacio, si no que deben resolverse algunos problemas de ingeniería. Algunas de estas preguntas son las siguientes: ¿Los cimientos son adecuados para soportar el sobrepeso? ¿SE requieren los nuevos servicios? Más aun, es posible que se tenga que construir un nuevo edificio para albergar el equipo. Así, las actividades y responsabilidades normales de un ingeniero residente con frecuencia lo conducen al campo de diseño.

El ingeniero residente estará a cargo de realizar los diseños estructurales necesarios o suministrar datos de un diseño ya elaborado, por la tanto debe conocer e interpretar los planos y la información de diseño para poder proporcionarla a la obra. En las algunas obras se toman datos y registros de procedimientos que deben ser evaluados y analizados por el ingeniero.

2.5.8 Información a interventoria. En cada obra existe una empresa que lleva la interventoria, que es el representante del cliente y se encarga de vigilar que todos los procesos se realizan de acuerdo a las especificaciones y a las normas establecidas. Por lo tanto el ingeniero residente debe mantener a interventoria informado acerca de varios aspectos como especificaciones de los materiales utilizados, algunos resultados de análisis tomados de campo, memorias y cálculos de procesos que se vayan a realizar, entre otros aspectos.

Asimismo el ingeniero deberá rendir cuentas sobre anomalías o equivocaciones que cometa la empresa contratista.

En las obras se deben realizar comités técnicos a cargo de la empresa contratista con el ingeniero residente a la cabeza, y de la interventoría, con el fin de planear conjuntamente y solucionar inconvenientes que puedan surgir en la obra.

2.5.9 Seguridad industrial y salud ocupacional. La seguridad en el campo de trabajo es muy importante y es un trabajo que concierne a todos los que trabajan en la obra. En una obra de construcción siempre debe haber una persona encargada de la seguridad industrial. Sin embargo el ingeniero será el encargado de dirigir cada proceso de seguridad velando por el cumplimiento de los procedimientos y las normas mínimas de seguridad. El ingeniero debe estar a la cabeza en procedimientos de prevención de accidentes. En caso de un accidente en la obra, el ingeniero deberá realizar un seguimiento o investigación del caso, trabajando con la persona encargada de seguridad. Si no existe una persona encargada de la salud ocupacional la persona encargada de la seguridad podría ejercer este rol. El papel del ingeniero en esta área debe ser la de controlar que se tenga en la obra los medicamentos, utensilios, y accesorios necesarios para atender los incidentes que se presenten en la obra.

2.5.10 Impacto social y ambiental. En la mayoría de las obras grandes se genera un impacto social y ambiental en el entorno de trabajo. Por esto se debe contar con profesionales que se encarguen de minimizar este impacto por medio de procedimientos y estrategias. El ingeniero residente no debe estar aislado de estos procesos, este deberá conocer y aprobar dichos procedimientos.

2.6 OTRAS ACTIVIDADES REALIZADAS EN LA PRÁCTICA

Además de lo mencionado anteriormente, también se realizaron otras actividades. Entre las más importantes están:

- Se realizaron vales para la empresa subcontratista de carpintería, y por medio de este se realiza el pago a esta empresa. En estos vales se describen por medio de ítems todos los elementos que se realizaron en los quince días anteriores, por ejemplo, tapas de formaleta para columnas, arriendo de maquinaria, entre otros. Para esto se solicitaba al encargado de la carpintería pasar por escrito todos los elementos realizados en la quincena, y que esto fuera aprobado y firmado por los maestros de obra, si es un servicio solicitado por ellos. Con estos datos se llenaba un registro que contiene la actividad, cantidad, valor unitario y valor total del vale.

- En repetidas ocasiones se presto colaboración en el momento de visitas de estudiantes y profesionales a la obra, brindando información y orientación acerca de los detalles y procesos constructivos que se realizan en el puente.
- Entregar información de planos a los maestros de obra y al equipo de topografía.
- Controlar el cumplimiento en campo de algunas especificaciones de diseño sobre colocación de acero, tensionamiento de cables y detalles sobre el encofrado.
- Seguimiento en obra del proceso de voladizos sucesivos para la elaboración del procedimiento presentado como aporte técnico a la universidad.
- Se realizaron charlas sobre temas de seguridad industrial a los trabajadores empezando la jornada laboral del día.
- Se llevo un control de la toma de cilindros para pruebas de resistencia, entrega de estos cilindros por medio de un formato ya existente en la obra al laboratorio encargado de realizar la prueba y se revisaron los resultados.
- Se entrego a la empresa de interventoria información sobre propiedades de los cables y del acero de refuerzo.
- En obra se realizo un ensayo de oxidación del acero. Esta prueba consistió fundir una caja de madera con concreto y acero oxidado embebido como lo muestra la figura. La oxidación de las barras no alcanzaba a presentar escamas o pérdida de sección transversal. Después de diez días de haber fundido la caja se hizo la demolición del concreto para observar el estado de las barras. Al demoler el concreto se observo que las barras de acero que estaban oxidadas antes de vaciar el concreto, presentaban una notable disminución en el color rojizo de la oxidación y no presentaba escamas ni pérdidas de sección. Con esto se pudo concluir que algunos componentes del cemento como los silicatos pueden reaccionar con los componentes de la oxidación y limpiar parcialmente el acero.

Al lado de las barras se colocó una barra sin oxidación para observar si si el oxido de las otras barras llegaba a afectarla. Al demoler el

concreto se pudo ver que esta barra no presento partículas de oxidación en su superficie.

Figura 2.12 Prueba de corrosión del acero



Sin embargo, la mayoría de los inspectores asumen una posición conservadora, exigiendo que se elimine cualquier oxidación por superficial que sea del refuerzo. Pero la eliminación de estos materiales es una labor costosa que consume tiempo y dinero, y si los materiales contaminantes no perjudican el agarre del refuerzo ni la resistencia del concreto, su remoción puede ser innecesaria.

- Uno de los objetivos de la práctica fue manejar de la mano del ingeniero encargado de calidad de la obra, las no conformidades que se presentaran en la obra. Una no conformidad es una desviación detectada frente al cumplimiento de disposiciones establecidas por la organización o sus clientes. El objetivo principal de esta actividad es aplicar las acciones correctivas, preventivas y de mejora con el fin de eliminar las causas de las no conformidades.

Tanto las acciones de mejora como las correctivas y preventivas se consideran como las herramientas que eliminan las no conformidades y sus causas, y por tanto requieren un seguimiento. Por lo anterior cada vez que se presenta en la obra una no conformidad, una tendencia o una oportunidad de mejora, se registra la situación en el formato registro de acciones correctivas, preventivas y de mejora, se hace análisis de las causas, se plantean las acciones a seguir y se establecen las fechas compromisos para realizarlas y finalmente se verifica su eficacia. Durante la práctica se manejo la no conformidad sobre la rotura de una repisa de soporte de formaleta de la losa entre apoyos 3-4. En el anexo 2 se muestra el seguimiento.

3. PROCEDIMIENTO PARA LA CONSTRUCCION DE PUENTES POR EL METODO DE VOLADIZOS SUCESIVOS FUNDIDOS POR SEGMENTOS IN SITU

3.1 OBJETIVO

Describir la metodología constructiva para la ejecución de puentes en voladizos sucesivos.

3.2 ALCANCE.

Aplica para la construcción de puentes en voladizos sucesivos para dovelas fundidas in situ, por medio de carro de avance y con cables internos al tablero.

3.3 INTRODUCCION.

En el proyecto de un puente, el problema fundamental que se plantea es saber cómo va a ser, es decir qué tipo de estructura va a tener, qué material se va a utilizar, cuáles van a ser sus luces, etc. Pero este cómo va a ser el puente, viene condicionado por diferentes factores; el primero de ellos es conocer su comportamiento resistente, es saber cómo va a ser su estructura. Pero además de saber cómo va a ser el puente, es necesario saber cómo se va a hacer, es decir, el procedimiento a seguir para llevar a buen fin su construcción. Este conocer cómo se va a hacer, va adquiriendo cada vez más importancia, a medida que crece la luz del puente, llegando a ser casi decisivo en las grandes luces.

Ambos problemas, saber cómo va a ser el puente y saber cómo se va a hacer, no se pueden separar, sino que en el momento de hacer un proyecto se deberán tener en cuenta simultáneamente. La importancia del proceso de construcción es tan grande y está tan presente en el ingeniero que muchos tipos de puentes se conocen por su procedimiento de construcción.

Con el presente documento se pretende describir el proceso constructivo de voladizos sucesivos basado en toma de datos, observación e información del proyecto Puente Barranca-Yondo, además de otras fuentes de información. En el se consignaran detalles del carro de avance, formaleta, concreto acero de refuerzo y presfuerzo, entre otras cosas.

3.4 DESCRIPCION DEL PROCESO

Dentro de los puentes construidos por voladizos sucesivos podemos encontrar puentes con cables dentro del tablero o puentes con cables exteriores o atirantados.

La construcción por voladizos consiste en ejecutar el tablero de un puente avanzado por tramos sucesivos, haciendo soportar a la parte ya construida el

peso de la parte en ejecución y el peso de los encofrados y/o dispositivos de montaje.

Cada tramo denominado Dovela, una vez endurecido, se solidariza a la parte ya construida por medio de unos cables de tensionamiento de tal manera que sirve de apoyo para la fundida de la siguiente dovela.

Figura 3.1 Sistema de voladizos sucesivos



Los cables de tensionamiento que solidarizan la nueva dovela serán de longitud cada vez mayor y en su mayoría irán alojados en la placa superior del tablero.

Las dovelas se funden in situ con ayuda de formaletas móviles o carros de avance que se apoyan en la parte ya construida.

Cabe mencionar que existen estructuras donde se combinan la elaboración in situ y los prefabricados. Un ejemplo de ello es el puente Brotonne en Francia donde se prefabricaron dovelas y fueron colocadas sobre formaletas móviles donde posteriormente se fundieron algunas partes de la sección transversal.

3.5 CARRO DE AVANCE

El carro de avance consiste en una estructura metálica de aproximadamente 45 Ton de peso, de la cual cuelga la formaleta necesaria para una dovela. Este carro deberá anclarse convenientemente en su parte posterior al tramo de tablero ya ejecutado para equilibrar el momento de vuelco producido por el peso propio de la formaleta y el concreto de la nueva dovela. Transversalmente los apoyos del carro deberán disponerse en las cercanías de las almas del cajón, a fin de evitar esfuerzos innecesarios en la placa superior del tablero.

Para controlar las cotas del tablero terminado, es necesario tener en cuenta la deformación propia del carro de avance por efecto del peso propio, y de cada una de las dovelas en las diferentes etapas de construcción al igual que el efecto del tensionamiento de los cables.

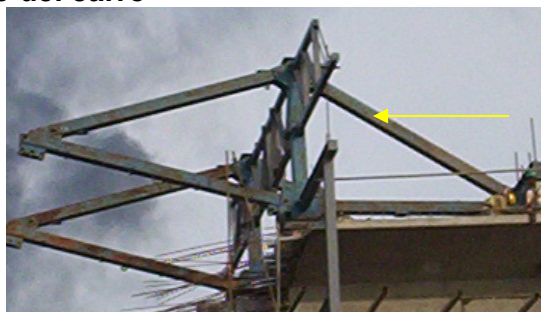
Figura 3.2 Vista frontal del carro de avance



3.5.1 Composición del carro de avance. El carro de avance esta constituido por:

- **Trompo.**

Figura 3.3 Trompo del carro



Es el alma del carro, ya que es la estructura que esta anclada a la dovela anterior y sostiene las plataformas superior e inferior de la dovela.

- **Cerchas.**

Figura 3.4 Cerchas del carro de avance



El carro contiene 2 cerchas que se encuentran ubicadas en la parte superior del carro y sirven de soporte para las barras dywidag.

➤ **Rieles.**

Figura 3.5 Rieles que soportan la estructura del carro de avance



El carro de avance consta de 2 rieles que se sitúan a cada costado del puente sobre la dovela anterior. Sobre estos rieles es que se apoya el carro en el momento del avance. Cada riel tiene un peso aproximado de 2 Ton.

➤ **Barras Dywidag.**

Figura 3.6 Barras dywidag para estructura del carro de avance



Las barras Dywidag son elementos de alta resistencia y son las que reciben directamente la carga de la estructura. El carro consta de 34 barras, 30 sosteniendo directamente las plataformas superior e inferior, que se encuentran ubicadas en la dovela en ejecución, y 8 barras ubicadas en las dovelas anteriores; 4 en la cola de los rieles que reciben carga solo en el momento del avance del carro y 4 en la punta del trompo con un diámetro de 36 mm que solo dejan de recibir carga en el momento del avance ya que deben soltarse.

Algunas características de las barras por diámetro son:

Tabla 3.1 Propiedades mecánicas de las barras dywidag utilizadas en la obra

	20 mm	26,5 mm	32 mm	36 mm
Cantidad	2	24	4	4
Area de seccion (mm ²)	314	548	806	1018
Modulo de elasticidad (Kg/mm ²)	209.000	209.000	209.000	209.000
Peso (Kg/m)	2,24	3,98	6,41	8,28
Esfuerzo de fluencia (psi)	120.000	120.000	120.000	120.000
Carga ultima (Ton)	50,2	56,7	83,4	105,5

Las barras Dywidag pueden ser tensionadas hasta los límites establecidos por el ACI 318. Según esta norma la carga máxima que debe soportar una barra no debe exceder $0.7f_u$. En el diseño se deben considerar perdidas en el tensionamiento por relajación del acero y por fricción.

El anclaje de las barras esta constituido por una placa de anclaje y una tuerca hexagonal ranurada. Estos elementos tienen las siguientes características:

Placa de anclaje:

Y

Para diámetro 26 mm: 127*140*32 mm

Para diámetro 32 mm: 152*178*38 mm

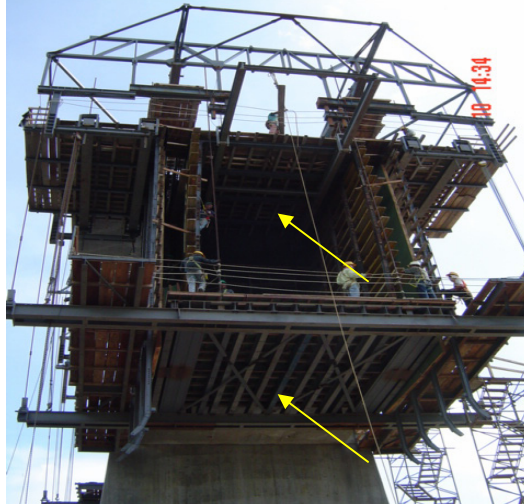
Para diámetro 36 mm: 178*191*44 mm

Para enlazar dos barras también se dispone de acoples cilíndricos.

➤ **L's laterales.** Que sirven de soporte a las plataformas por medio de barras o diferenciales.

➤ **Plataformas superior e inferior.**

Figura 3.7 Plataformas superior e inferior del carro de avance



Las plataformas están conformadas por perfiles H principales, sobre los que se apoyan otros perfiles secundarios de menores dimensiones y a su vez estos perfiles secundarios sirven de apoyo a una serie de perfiles tubulares perpendiculares a los anteriores, sobre los cuales descansa la plataforma de madera.

- **Diferenciales.** Elementos que tienen como función sostener la plataforma inferior.
- **Apoyos de cerchas.** Es una estructura metálica conformada por perfiles H ubicados longitudinalmente que sirven de apoyo a los cerchas y que a su vez se sostiene sobre cabezales suspendidas por medio de barras dywidag a la dovela anterior.

Figura 3.8 Apoyos de cerchas del carro de avance



➤ **Correas.** Son elementos metálicos verticales que se utilizan como soporte de las tapas de formaleta de los muros. Las correas tienen orificios por los cuales se atraviesan los tensores para permanecer el muro en su posición vertical en el momento del vaciado de concreto.

➤ **Pasarela.**

Son las plataformas exteriores que no soportan formaleta, si no que sirven de soporte para las personas y algunos equipos

3.5.2 Montaje. El procedimiento de montaje del carro es el siguiente:

- Con la ayuda de una grúa se instalan los rieles.
- Se instalan los trompos y se anclan a la dovela con barras dywidag de 36 mm de diámetro.
- Instalación de las cerchas sobre el trompo, son cerchas tipo Pratt, una atrás y otra adelante.
- Instalación de L's para soporte de las plataformas.
- Se colocan los elementos que van a soportar la plataforma inferior, estos elementos son barras dywidag y cuatro diferenciales, en cada una de las esquinas. Para el anclaje de las barras dywidag se dejan unos pases o huecos en la losa.
- Se procede a la colocación de la plataforma inferior que se suspende de las barras dywidag y de las cuatro diferenciales.
- Se instalan los ángulos sobre los que van apoyados la plataforma de madera, que conforman la llamada pasarela.
- Se instala la estructura metálica que conforma el apoyo de las cerchas.
- Colocación de la plataforma superior. Esta estará suspendida en su parte delantera por barras dywidag que cuelgan de la cercha de adelante y en su

parte trasera se ancla a la losa por medio de barras dywidag cortas y anclajes metálicos.

- Instalación de pasarelas (son cuatro, dos laterales, una atrás y una adelante).
- Instalación de tensores y diagonales
- Instalación de correas exteriores que deben estar suspendidas de las cerchas y de la plataforma superior.
- Instalación de formaletas; esta comprende formaleta de parte inferior, pasarelas interiores, formaleta de plataforma superior interna, formaleta interior y exterior de muros.
- Nivelación y ubicación del carro de avance. Siempre se deberán reglar cuidadosamente sus cotas antes del hormigonado de cada dovela.

3.6 GEOMETRIA DE PUENTES CONSTRUIDOS POR DOVELAS.

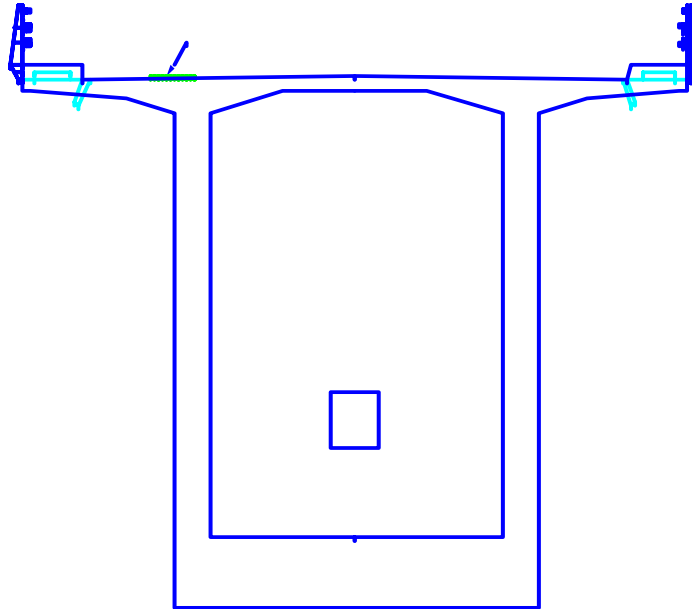
La sección longitudinal más común es la utilizada en el Puente Barranca-Yondo, que es la de altura total variable parabólicamente a partir de la sección en el centro de la luz central. Esta variación se hace con una parábola de segundo grado. El orden de magnitud de altura total esta entre $L/16$ y $L/20$ en los arranques a $L/40$ y $L/50$ en el centro de la luz. La geometría de la placa del cajón y el espesor de las almas se conservan constantes a lo largo del tablero para simplificar la formaleta interior.

La placa inferior normalmente presenta un espesor variable (en el caso del puente esta entre 1.3 y 0.22 m). Esta variación de espesor no se presenta necesariamente en el centro de la luz, se puede pensar en un tramo de espesor constante y luego una variación lineal de espesor hasta los apoyos.

La sección transversal es una sección cajón, con un ancho entre 9 y 26 m de, los cuales pueden tener almas verticales o inclinadas, aunque las inclinadas pueden traer complicaciones en el encofrado.

3.7 PROCEDIMIENTO PARA CONSTRUCCION DE DOVELAS.

Figura 3.9 Sección viga cajón



Como ya se ha mencionado anteriormente el sistema constructivo de voladizos sucesivos consiste en la construcción de secciones en voladizo llamadas dovelas. Para la construcción de estas dovelas se requiere de una obra falsa que esta soportada sobre el carro de avance y este va anclado a la dovela anterior.

A continuación se presentan los pasos para la construcción de una dovela partiendo de la terminación de la dovela anterior. (dovela anterior se le llamara a la que se encuentra inmediatamente antes de la dovela sobre la cual se va a describir el proceso.

3.7.1 Ubicación y nivelación del carro de avance. El carro de avance debe ser ajustado a las necesidades del proyecto, por lo que requiere un trabajo previo de repotenciación y adecuación geométrica de la estructura. Dicho trabajo se debe hacer en la obra antes de proceder a montarlo.

El avance del carro se lleva cabo en dos fases.

➤ **Avance de los rieles.** Los rieles se deben soportar directamente sobre la dovela anterior. Para el avance de estos no se tiene una resistencia mínima especificada del concreto, sin embargo se recomienda por lo menos permitir el

fraguado del concreto (que se presenta entre 6 y 8 horas aproximadamente) con el fin de prevenir posibles fisuras.

El avance de los rieles se realiza por medio de un sistema de bomba hidráulica que consta de dos brazos metálicos (uno en cada riel) que son activados por medio de mangueras por un operador denominado comúnmente centralina.

El avance se puede ejecutar primero un riel y luego el siguiente, o los dos simultáneamente aunque el proceso se hace un poco mas lento. La presión ejercida por la centralina varía en un intervalo de 3 a 5 Bar aproximadamente.

En el momento del avance de los rieles, el resto del carro se encuentra anclado en la parte trasera del trompo por medio de barras dywidag y apoyado en 2 gatos que son la base de cada trompo y que se encuentran ubicados en el borde de la dovela anterior, y las ruedas sobre las que se da el movimiento del carro se sitúan en el aire.

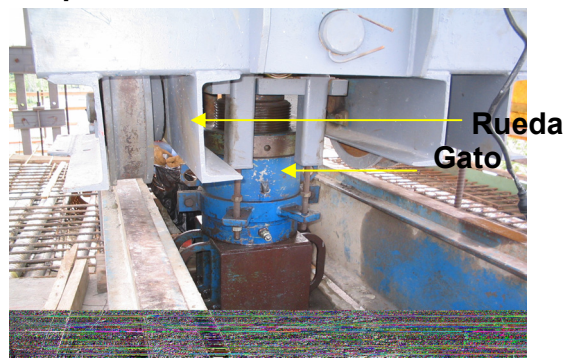
El avance de los rieles tiene una duración promedio de 1 hora para cada riel.

➤ **Avance del carro.** Para poder avanzar el carro es recomendable esperar a que el concreto de las dovelas haya obtenido una resistencia mínima que corresponde al 70% de la resistencia de diseño, en el caso del puente este valor es aproximadamente 290 Kg/cm².

Antes de iniciar el avance del carro se deben realizar las siguientes operaciones:

- Se deben bajar los gatos que se encuentran a cada lado y en el borde de la dovela anterior y que hacen parte del apoyo de la estructura. Para esta operación se conectan las mangueras de la centralina a los gatos y se aplica la tensión necesaria para descender estos gatos hasta que la carga de la estructura quede soportada sobre los rieles a través de las ruedas, son cuatro ruedas que se soportan cada una sobre un riel.. Estas ruedas se deben cuñar con tacos de madera con el fin de evitar que la estructura se desplace. Además de estas ruedas, en el momento del avance la estructura se sostiene sobre otras ocho ruedas mas pequeñas que se ubican en la cola del trompo y que en el momento del avance se apoyan sobre los rieles, tendiendo a levantarlos.

Figura 3.10 Gato de soporte del carro de avance



- Después de realizado el paso anterior se debe proceder a soltar las barras dywidag que se encuentran ancladas en la parte trasera del trompo para poder desplazar la estructura. Previamente al desmantelamiento de estas barras se debe amarrar la cola del trompo a las dovelas anteriores por medio de cables para evitar el vuelco de la estructura.

Después de realizar estas dos operaciones se puede proceder al avance de la estructura del carro. La duración del avance del carro dependerá de la longitud de la dovela (para una dovela de 5 m el tiempo aproximado es 3 horas).

Figura 3.11 Avance del carro



El personal que se requiere para el avance es el siguiente:

- ✓ Un operador del carro, el cual debe conocer la composición y el funcionamiento del mismo y dirigir el procedimiento.
- ✓ Tres ayudantes.
- **Nivelación del carro.** Cuando el carro llega a la nueva posición, es ajustado, nivelado y anclado a la parte de atrás de la superestructura de manera que resista los momentos de volcamiento producidos por el peso del concreto.

Para la nivelación del carro se deberán escoger una serie de puntos estratégicos. En el caso del puente Barranca-Yondo se seleccionaron 8 puntos ubicados sobre vigas metálicas. Comúnmente el encargado de seleccionar estos puntos es el diseñador del proyecto, definiendo a su vez las cotas a las cuales deben quedar estos puntos en la obra. Estas cotas establecidas por el diseñador serán las cotas con las cuales se alcanzara la cota rasante después del vaciado, teniendo en cuenta los cambios de niveles dados por el peso del concreto y la temperatura ambiente. Normalmente por medio de nivelación topográfica se deben tomar las cotas antes y después del vaciado para controlar el nivel de rasante.

El proceso de nivelación estará a cargo del grupo de topografía, que esta conformado por un topografo encargado y dos o tres cadeneros, aunque también se requieren algunos ayudantes para tratar de ubicar los elementos hasta los niveles indicados ya sea utilizando gatos hidráulicos o accesorios manuales.

El tiempo empleado en esta actividad esta entre 3 y 4 horas y se puede ejecutar simultáneamente con otras actividades como colocación de pases para elementos del carro de avance, adecuación de formaleta y limpieza.

Cuando se ha terminado el avance de un carro para un voladizo, inmediatamente se debe proceder a avanzar el carro del otro voladizo, con el fin de no producir momentos de vuelco importantes sobre la pila.

3.7.2 Colocación de acero de refuerzo Previamente a la colocación del acero se deben marcar los puntos de las nuevas posiciones de las barras dywidag. Una vez localizados estos puntos se dejaran unos pases (cajas pequeñas de madera) para que en el momento del vaciado quede el espacio para la barra.

El armado del acero de refuerzo de la dovela se debe comenzar por la losa inferior, muros y posteriormente losa superior y el refuerzo de los andenes que queda embebido. El refuerzo restante de los andenes se realiza después de terminados los voladizos.

El tiempo normalmente utilizado para esta actividad es de 2 días, aunque este tiempo puede excederse cuando la dovela lleva elementos adicionales como anclajes para cables ya sea en la losa superior, inferior o en las dos.

El personal empleado es; 2 ayudantes y 2 oficiales, para armar un peso de 11 Ton aproximadamente, obteniéndose un rendimiento de 36 H-h/ton.

En el momento del armado de la dovela el personal disponible para la construcción del voladizo se encuentra casi en su totalidad realizando esta actividad.

La forma de montaje del acero es por medio de plumas que son dispositivos para elevación bien sea manual o mecánica.

La pluma generalmente consta de un poste metálico o de madera con unas cuerdas de alambre o manila. La capacidad de la pluma esta determinada principalmente por la resistencia del poste. La capacidad, por supuesto, aumenta con un poste mas corto.

El acero de refuerzo puede ser armado directamente en el lugar o preensamblado en armaduras colocadas en el sitio por medio de grúas.

En la construcción de dovelas in situ es posible hacer un refuerzo de continuidad en la superestructura, mientras que en dovelas prefabricadas solo hay continuidad por los tendones de presfuerzo longitudinal.

3.7.3 Colocación de ductos de los cables de tensionamiento. Los ductos para cables de tensionamiento son tubos metálicos galvanizados que van embebidos en el concreto y que sirven de protección a los cables.

En la primera dovela el numero de ductos vacíos es igual al numero de cables, y en cada dovela se va disminuyendo el numero de ductos a medida que se van utilizando para la colocación de los cables; es decir, si una dovela tiene 2 cables mueren 2 ductos, y así sucesivamente hasta que al final del voladizo no deberá quedar ningún ducto vacío, a excepción de algún ducto para un cable de reserva que no se haya necesitado utilizar. En los voladizos se dejan cables de reserva con el fin de reforzar la estructura si al finalizar los voladizos, no se hayan alcanzado las deformaciones esperadas de los cables. La utilización de estos cables será decisión propiamente del diseñador del proyecto.

Figura 3.12 Ductos para cables



➤ **Colocación de ductos.** De la dovela anterior deben sobresalir entre 10 y 30 cm de cada ducto con el fin de empalmarlo con los ductos de la dovela en ejecución. Los ductos entre la dovela anterior y la dovela en ejecución se colocaran a tope y se unirán por medio de una cinta especial. Se debe tener especial cuidado con esta unión, ya que si no se hace correctamente se puede soltar en el momento del vaciado produciendo posibles aberturas que permiten el acceso de concreto. En la mayoría de los casos los ductos deberán llevar una curvatura para llegar hasta el punto de anclaje cerca de las almas del cajón, en el diseño se definen coordenadas de puntos para definir la geometría de dicha curva.

3.7.4 Vaciado de dovelas. Terminado el armado del acero el equipo de topografía deberá revisar nuevamente los niveles antes de proceder al hormigonado de la dovela. Además se debe fijar el nivel de vaciado a partir de las cotas establecidas en el diseño y se ajusta la formaleta para poder dar inicio a la fundición.

Las dovelas se funden una en cada voladizo simultáneamente para equilibrar las cargas sobre la columna y el método de colocación es por bombeo. Se requiere de una bomba para cada voladizo.

En la mitad de la tapa de formaleta de cada muro se debe dejar una cavidad donde quepa la tubería de bombeo para poder vaciar el muro.

El primer paso del vaciado es el bombeo de cierta cantidad de concreto sobre la losa inferior y se va realizando el vibrado con el fin de expandir y compactar el concreto. Posteriormente se coloca la tubería en las cavidades de los muros y se coloca concreto hasta llenar la parte restante de la losa inferior y el nivel alcance la altura las cavidades.

El concreto de la parte restante de los muros se colocara desde la losa superior por lo cual se recomienda que el asentamiento del concreto de la losa inferior y de la parte baja de los muros este entre 5" y 6", ya que asentamientos mayores podría ocasionar que el concreto de la parte baja de los muros se desplace hacia la losa inferior. En el momento del vaciado de los muros se debe vibrar desde la losa inferior y golpear las tapas de madera en la parte exterior de la dovela con porras de caucho para compactar el concreto. Después de fundidos los muros completamente se coloca el concreto de la losa superior realizando simultáneamente la misma operación de vibrado.

Para la fundición de las dovelas (Para los dos voladizos) se requiere del siguiente personal:

✓ No de oficiales: 8

Funciones: Vibrado del concreto, nivelación de superficie de concreto, movimiento de la tubería de bombeo.

✓ No de ayudantes: 12

Funciones: Movimiento de la tubería de bombeo, compactación del concreto por golpes con martillo en las tapas de los muros.

Para un volumen de dovelas de 100 m³ (para los dos voladizos) se emplea un tiempo de 10 horas aproximadamente, con lo cual resulta un rendimiento de 10 m³ por hora.

Otros aspectos importantes a tener en cuenta en el proceso de hormigonado son:

- Antes del vaciado se debe verificar que la tubería de bombeo este limpia internamente, de lo contrario se podrían presentar taponamientos causantes de demoras en la fundición.
- Previamente al inicio del vaciado se debe limpiar correctamente la superficie de formaleta sobre la que se va a realizar esta actividad.
- Si el concreto de la losa inferior y la parte baja de los muros no tiene un asentamiento adecuado para continuar con la fundición de la parte superior de los muros es recomendable esperar el tiempo necesario hasta que “a ojo” se pueda observar un asentamiento de 5” o 6”.
- En el momento del vibrado, el vibrador debe colocarse verticalmente y no en posición inclinada u horizontal y en lo posible evitar colocarlo directamente sobre la formaleta, ya que puede desprender los tejidos de la madera dejando manchas en la fachada del concreto. Se recomienda que esta operación sea ejecutada por un oficial.
- Se debe tener especial cuidado en la colocación del concreto para no producir el fenómeno de la segregación, que es un efecto en el que se separan el agregado grueso del agregado fino, generando un concreto poco uniforme y por ende menos consolidado y resistente. Una manera de evitar la segregación del concreto es mantener una distancia mínima entre la boca de la tubería de bombeo y el fondo de la formaleta, sin dejar la tubería de bombeo embebida. Otra manera de evitar este fenómeno es realizando un correcto vibrado del concreto.
- La cantidad de concreto colocada en los voladizos debe ser equilibrada durante todo el vaciado a fin de no producir momentos considerables sobre el apoyo.
- Se debe tener cuidado con los ductos de los cables ya que si se rompen podrían afectar la deformación normal de los cables.
- El vaciado no se debe suspender por largos periodos de tiempo porque se pueden producir juntas frías en el concreto y además de esto se pueden taponar la tubería de bombeo.
- Las bombas deben comenzar el bombeo simultáneamente. Si en el momento del vaciado por alguna causa se detiene el bombeo de

concreto en un voladizo, igualmente se debe detener el bombeo en el otro voladizo para mantener el equilibrio. Las causas por las que se detiene el bombeo de concreto son; por fallas mecánicas de la bomba, taponamientos de la tubería o fallas en las características y propiedades del concreto.

- Siempre y durante todo el vaciado debe permanecer un ingeniero y un maestro encargado con el fin de orientar los procesos y dar solución técnica a cualquier inconveniente que se pueda presentar.

Para controlar las cotas del tablero terminado, es necesario tener en cuenta la deformación propia del carro de avance por efecto del peso propio, y de cada una de las dovelas en las diferentes etapas de construcción, al igual que el efecto del tensionamiento de los cables.

El concreto utilizado en la obra puente Barranca-Yondo para las dovelas tiene las siguientes especificaciones (Para 1 m³):

- ✓ Cemento: 456 Kg.
- ✓ Grava: 790 Kg.
- ✓ Arena: 840 Kg.
- ✓ Plastiment TM-5 (Aditivo plastificante): 2.075 L
- ✓ Viscocrete (Aditivo Acelerante): 0.7 L
- ✓ Hielo: 105 Kg.
- ✓ Agua: 63 Kg.

El uso del hielo se hace necesario para contrarrestar los efectos del calor de hidratación producido por la gran cantidad de cemento que se utiliza.

El aditivo TM-5 es un plastificante que se utiliza para dar trabajabilidad en el momento del vaciado del concreto.

El aditivo Viscocrete se utiliza para acelerar el endurecimiento del concreto, que se requiere para poder continuar con las actividades de avance del carro y tensionamiento de cables.

Además del bombeo el concreto también puede ser colocado con baldes de gran tamaño levantados con grúas. Aunque este método reduciría el número de trabajadores para realizar el vaciado, aumenta demasiado el tiempo de vaciado y a su vez aumentaría el tiempo de ciclo de construcción de las dovelas.

3.7.5 Desencofrado de formaleta de muros. Para el desencofre de la formaleta de los muros se debe tener una resistencia del concreto de por lo menos 30 Kg./cm², que se comprueba con lo siguiente:

Resistencia del concreto a las 12 horas = 0.3 f'c

La máxima sollicitación posible es de 1.50 ton-m/m

- Análisis por flexión

$$t = 0.45 \text{ m}$$

$$\sigma = \frac{6 * M}{t^2}$$
$$\sigma = \frac{6 * 1.5}{(0.45)^2} = 4.44 \text{ Kg./cm}^2$$

Para un concreto normal:

$$4.44 = \sqrt{f'c} \quad \text{con F.S} = 2.00$$
$$f'c = 20 \text{ Kg./cm}^2$$

Luego en forma conservadora, para soportar los esfuerzos sin fisuración, el concreto debe tener por lo menos 20 Kg./cm².

Adicionando un factor de seguridad de 1.5 más:

$$20 * 1.5 = 30 \text{ Kg./cm}^2$$

Esta debe ser la resistencia mínima para despegar la formaleta. Esto se cumple perfectamente en 12 horas.

El desencofrado de los muros requiere de 4 a 5 personas por voladizo y un tiempo promedio de un día.

3.7.6 Curado del concreto Las tapas exteriores de formaleta de las dovelas ofrecen alguna protección al concreto de los rayos del sol y del viento, sin embargo los muros deben ser desencofrados lo antes posible para continuar con el proceso por lo que esta protección no dura mucho tiempo. El curado se debe hacer con agua o con algún aditivo que proteja la superficie del concreto, y se debe efectuar cuando el concreto comienza a perder su brillo o cuando el agua no valla a afectar la superficie del concreto. De los dos métodos es preferible utilizar el agua, ya que los aditivos pueden dejar manchas en el concreto. Si el agua solo se utiliza una vez, es decir al día siguiente del vaciado, se debe proteger el concreto con algún aditivo.

Los muros son los elementos mas expuestos al sol y aunque las tapas de formaleta protegen de los rayos del sol, es indispensable curar con suficiente agua o aditivo de tal manera que recorran toda la superficie interior y exteriormente.

3.7.7 Enhebrado de torones. En esta actividad se instalan los torones para cada cable. Esta operación se puede realizar por medio de una bomba llamada enfiladora, o manualmente, aunque cuando los cables son de gran longitud resulta bastante tedioso realizarlo manualmente.

Figura 3.13 Enhebrado de torones



El equipo utilizado para el proceso consta de una enfiladora (maniobrada por un operador y colocada sobre la pasarela del carro de avance) y de una bomba que la activa. La enfiladora halara el cable desde un rollo. Como se muestra en la foto el cable deberá ser lubricado con aceite en la entrada del ducto con el fin de facilitar el enfilado del cable. Deberá haber una persona en el otro voladizo que indique el momento en que ha salido el toron y se cortara el cable dejando puntas de 1 m para realizar el tensionamiento.

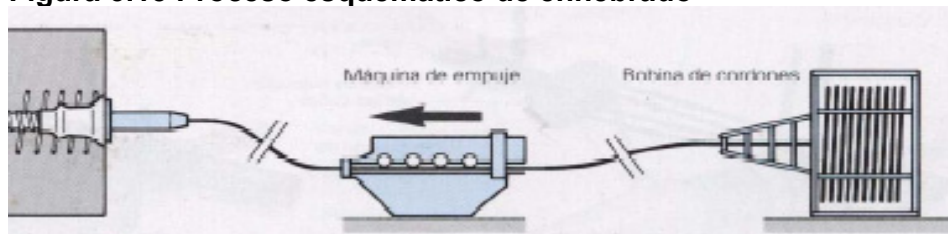
Figura 3.14 Bombas para proceso de enhebrado



Cuando los cables son de gran longitud se hace necesaria la utilización de dos bombas para aumentar la presión. Para desarrollar el enfilado se recomienda esperar a que el concreto de la dovela haya fraguado, ya que estas bombas tienen un peso considerable y producen vibración, lo que podría llevar a fisuras en el concreto. Cuando se van a utilizar las dos bombas se debe chequear el estado de endurecimiento del concreto ya que estas dos máquinas trabajando juntas producen vibraciones fuertes sobre el concreto.

El tiempo de ejecución de este proceso es variable y va a depender directamente de la longitud del cable a enfilar. Un tiempo normal para enfilarse un toron y cortarlo es de 20 min. El personal para esta actividad es 1 operador del equipo y dos ayudantes.

Figura 3.15 Proceso esquemático de enhebrado



3.7.8 Tensionamiento de cables. Los cables de tensionamiento son de longitud creciente a medida que avanza el voladizo y están dispuestos generalmente en la placa superior del tablero, ya que es en esta parte donde se presentan los mayores esfuerzos de tensión.

En algunos casos es necesario anclar cables en zonas de placa superior donde el espesor no es suficiente para el anclaje por lo que es necesario disponer unas salientes especiales.

Antes de iniciar con el tensionamiento es favorable haber hecho el avance del carro, para facilitar el movimiento y apoyo del gato.

Para poder realizar el tensionamiento de los cables de las dovelas es necesario como mínimo una resistencia del concreto del 70% de la resistencia de diseño, ya que el gato de tensionamiento aplica fuerza de compresión al concreto.

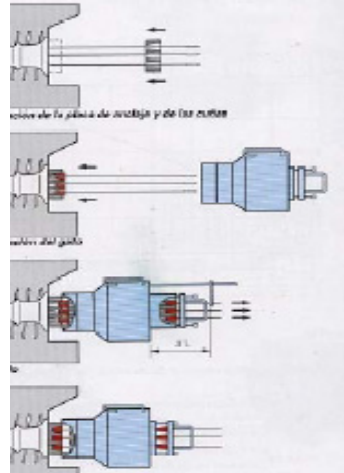
Los gatos utilizados para el tensionamiento se clasifican según el número de torones que vayan a tensionar. Comúnmente existen gatos para tensionar cables de 1, 7, 12 y 19 torones.

El tensionamiento básicamente se realiza con el gato por medio de cuñas metálicas (una cuña para cada toron) que son las encargadas de tensionar el cable y cuando este ha llegado a su tensión máxima se cierran para impedir que el cable se recoja por su efecto de elasticidad, y que de esta manera se mantenga tensionado.

El ingeniero residente deberá establecer la presión máxima que se debe aplicar a los cables teniendo en cuenta que este esfuerzo debe ser menor que el esfuerzo de fluencia, es decir, que el diagrama esfuerzo-deformación resultante debe estar dentro del rango elástico.

En la figura 3.16 se resume el proceso de tensionamiento.

Figura 3.16 Resumen de proceso de tensionamiento



- Colocación de la cabeza del anclaje (platina metálica de gran espesor sobre la que se ajusta directamente el gato).
- Colocación del gato hidráulico.
- Colocación de cuñas de arrastre
- Ajuste y posicionamiento del gato.
- Conexión con la central o bomba hidráulica.
- Tensionamiento
- Medida de alargamiento y bloqueo de cuñas.

El manómetro del equipo de tensionamiento tiene expresada la carga aplicada en unidades de bares. Cada 100 bares debe registrarse la deformación obtenida para controlar que la deformación esta dentro del rango esperado.

Normalmente los cables cortos se tensionan solo de una punta (tensionamiento Móvil-Fijo) y se anclan al concreto por medio de una platina en forma de semicírculo, y los cables largos se tensionan de las dos puntas (tensionamiento Móvil-Móvil), esto para que la deformación del cable sea regular a lo largo de su longitud. Cuando los cables son Móvil-Móvil por facilidad se tensionan

primeros todos los extremos de un voladizo y luego se procede al siguiente. El tensionamiento del segundo extremo se denomina "retensionamiento". En este retensionamiento se producen deformaciones pequeñas comparadas con las del tensionamiento del primer extremo. La suma de las deformaciones de tensionamiento y de retensionamiento da la deformación total obtenida, que es la que se debe comparar con la deformación teórica. La deformación total obtenida puede estar en un rango de +/- 7% de la deformación teórica.

Para determinar el esfuerzo efectivo que se va a aplicar al cable se debe tener en cuenta las pérdidas debidas a:

- Corrimiento del anclaje.
- Acortamiento elástico del concreto.
- Flujo plástico del concreto.
- Retracción de fraguado del concreto.
- Relajación del esfuerzo del tendón.
- Perdidas por fricción debidas a la curvatura intencional y no intencional en los tendones en postensado.

En ocasiones se puede presentar que al tensionar los cables no se alcancen las deformaciones esperadas. Esto se debe posiblemente a:

- El rompimiento del ducto que pudo permitir la entrada de concreto en su interior.
- Aunque dentro del diseño se debe tener en cuenta el efecto de fricción, en grandes longitudes de torones se incrementa este efecto ya que los cables entran más difícilmente.

La duración del tensionamiento depende de la longitud de los cables, con cables largos el proceso se hace mas largo, aunque se podría proponer un día para el tensionamiento. Esta actividad no requiere un personal constante; en el montaje del gato se necesitan de 4 a 5 ayudantes, pero durante la operación solo se requiere del operador del equipo y un ayudante encargado de medir las deformaciones.

En la mitad de la losa inferior transcurren cables llamados de tensionamiento de continuidad. El tensionamiento de continuidad en el centro de la luz, solidariza los voladizos y hace frente no solo a los momentos positivos provenientes de las cargas permanentes que se colocan posteriormente (pavimento, andenes y barandas) y a los momentos de carga viva, sino también a los momentos de fluencia que son los que ocurren por el efecto de gradiente térmico por diferencias de temperatura entre las losas superior e

inferior. Su anclaje se realiza en salientes convenientemente dispuestas sobre la placa inferior en el interior del cajón.

3.7.9 Inyección de ductos

Figura 3.17 Equipos de inyección de ductos para cables



Cuando se han tensionado los cables y se han revisado las deformaciones, que dan listos los cables para inyectar la lechada.

La lechada debe tener una relación de agua/cemento igual a 0.45 y se inyecta a una presión de 75 a 100 lb/pul². El propósito de esta inyección es proteger los cables de la corrosión (durabilidad) y la transferencia de fuerzas del acero de presforzado a la estructura del concreto.

Esta lechada además de cemento y agua debe contener un aditivo súper plastificante con el fin de poder trabajar la mezcla más fluida por más tiempo.

3.7.10 Estabilidad en construcción. A partir de las pilas, se efectúa la construcción de manera simétrica a fin de no someterlas a momentos de vuelco importantes. El término simétrico es relativo ya que en realidad es absolutamente imposible obtener un perfecto equilibrio.

Según la altura de la pila se pueden encontrar los siguientes procesos constructivos:

- **Para pilas de gran altura.** El tablero se construye monolítico con las pilas y estas asumen los momentos de desequilibrio durante la construcción, al igual que los momentos provenientes de la carga viva del puente en servicio.

➤ **Para pilas de altura media.** Es recomendable hacer apoyo simple entre la pila y la superestructura. La estabilidad en la construcción se puede asegurar por medio de cables verticales, los cuales se desmontan una vez realizada la continuidad del tablero.

➤ **Para pilas cortas.** Se pueden colocar sobre la misma zapata de cimentación pilas provisionales metálicas o de concreto que serán eliminadas una vez se realice la continuidad del tablero.

En ocasiones se hace indispensable colocar contrapesos en uno de los voladizos para mantener balanceado el sistema, esto se presenta por ejemplo cuando hay mayor número de anclajes para cables en uno de los voladizos.

Cuando se ha completado la construcción de un voladizo este terminara apoyado sobre una pila o columna o se encontrara con otro voladizo y se unirán por medio de otra dovela llamada comúnmente dovela de cierre.

Acabada la última dovela, es decir, la anterior a la dovela extrema, se debe desmontar y bajar el carro de avance. Para esto se requiere de una grúa para bajar las piezas sueltas como barras dywidag, aleros, trompos, cerchas, rieles y de diferenciales para bajar plataformas y pasarelas.

Cuando finaliza apoyado sobre una columna se presentan las siguientes características:

- La última dovela será maciza, llamada dovela extrema que es la que estará apoyada sobre la pila.
- Para asegurar que no se produzcan movimientos verticales de la dovela sobre la columna, se instalaran cables verticales que van desde la losa inferior de la viga cajón y anclados a la zapata por medio de un anclaje fijo. El otro extremo será móvil y se tensionara cuando la dovela extrema tenga la resistencia especificada.
- Entre la dovela extrema y la columna deberá existir un apoyo especial para evitar fisuras y garantizar estabilidad. Un ejemplo de este tipo de apoyo es el apoyo Slide-Flon el cual consta del neopreno con láminas intermedias pegadas y unos anclajes que son como “patas”, para controlar desplazamientos.

Una vez se termina el empalme de los voladizos es posible terminar también la construcción de andenes y la instalación de barandas.

Existen varios métodos para acelerar el tiempo de construcción de los voladizos. Un método es reforzando el carro de avance con perfiles metálicos y

barras dywidag para que este pueda soportar cargas mayores, y de esta manera poder aumentar la longitud de los segmentos. Para esto también se debe considerar en la fase de diseño el aumento del peso de concreto y los costos adicionales que puede acarrear esta alternativa.

En síntesis, la duración típica para la construcción de las dovelas es una semana y comprende las siguientes fases:

Tabla 3.2 Duración típica para la construcción de dovelas

ACTIVIDAD	DURACION	RESISTENCIA MINIMA
Avance de rieles del carro	1/2 día	Fraguado del concreto.
Avance de la estructura del carro y nivelacion de la misma.	1/2 día	70% de la resistencia de diseño
Colocacion de acero de refuerzo, ductos para cables y ajustes de formaleta	3 días	-
Vaciado de dovelas	1/2 día	-
Desencofre de formaleta y curado del concreto.	1 día	30 Kg./cm ² para formaleta de muros
Enfilado de torones	1/2 día	-
Tensionamiento de cables	1 día	230 Kg./cm ²

3.7.11 Realizaciones en Colombia En Colombia, la primera utilización de voladizos sucesivos aparece con el puente sobre el río Magdalena en Barranquilla, cuyo tramo principal consiste en una luz central de 140 m con dos luces laterales de 69.50 m. En este puente se empleo la combinación de voladizos sucesivos con cables exteriores provisionales y un tirante definitivo anclado en un tercio de la luz central aproximadamente. La altura del cajón es de 3 m constantes en toda la longitud del tramo principal del puente.

En 1976 se dio al servicio el Puente sobre el río Juanambú que constituye la primera realización de voladizos sucesivos a cargo de ingeniería netamente nacional. Este puente presenta en su tramo principal 3 luces de 45, 90 y 45 m, conformando un pórtico con sus dos pilas principales de alturas cercanas a los 60 m.

En 1979 se termino el puente sobre el río Cauca en el paso del comercio de la carretera Cali-Palmira. Este puente con una luz central de 82 m y luces laterales de 41 m esta simplemente apoyado en las pilas a través de apoyos de neopreno. Las dovelas se fundieron sobre carros de avance convencionales y la estabilidad del tablero en construcción se aseguro por medio de pilas auxiliares.

En 1983 se construyo el puente de La Doctrina sobre el río sinu en la carretera Loricá-San Bernardo. Este puente consta de 3 luces de 41.80-83.60-41.80 m y su superestructura esta conformada por un cajón unicelular para una vía de tráfico. Los voladizos fueron ejecutados simétricamente con carro de avance convencional y dovelas fundidas in situ.

En la década de los 90 la utilización de voladizos sucesivos se vio incrementado con múltiples realizaciones, entre los cuales se destaca el puente sobre el Río Farallones con una luz central de 142 m. También son notables los puentes de Plato y Puerto Arturo en los cuales se ha empleado la técnica de voladizos con luces múltiples superiores a los 110 m.

Actualmente se encuentra en construcción el Puente sobre el Río Magdalena entre Barrancabermeja y Yondo, que es una estructura de 920 m de longitud con un puente principal de 200 m de luz central construido por voladizos sucesivos con dovelas fundidas in situ y que constituirá un record nacional para este tipo de realizaciones, ya que tendrá la luz principal mas larga de todos los puentes construidos por este sistema en el país.

Las obras para la construcción del puente iniciaron en Noviembre del 2004 y se construye a partir de los diseños del ingeniero Darío Farias, por la compañía ConConcreto S.A.

4. CONCLUSIONES

Con base en las actividades de investigación y aprendizaje desarrolladas durante la práctica se presentan las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- Se puede hacer uso de los aditivos en el concreto cuando se quieren algunas condiciones especiales. Sin embargo se debe tener especial cuidado con la dosificación, ya que con cantidades excesivas de los aditivos se pueden generar efectos secundarios que afectan el comportamiento normal del concreto.
- Un concreto ideal debe tener tres características importantes que son; resistencia adecuada, facilidad de colocación y durabilidad. Estas características se pueden manejar con varios factores que son; la relación agua/cemento, la proporción cemento/agregado, tamaño del agregado grueso, proporción entre agregado fino y agregado grueso, tipo del cemento y productos incluidos en la mezcla.
- Para un concreto mas económico se debe reducir al mínimo la cantidad de cemento. Esto se logra con la selección del agregado del tamaño máximo consecuente con los requisitos de la obra y buena gradación, para tener volúmenes menores de vacíos. Entre menor sea la cantidad de aire en el cemento, menor será la cantidad de cemento necesaria en el concreto. Por esto se hace de gran importancia una correcta vibración del concreto en el momento del vaciado.
- La oxidación en el acero puede ser aceptada sin no se han producido desprendimientos o escamas y no se ha alcanzado una pérdida en la sección transversal. Sin embargo en situaciones donde el concreto esta expuesto a cambios extremos de temperatura, cerca de instalaciones de redes eléctricas, o que presente alto contenido de vacíos, es recomendable que el acero este libre totalmente de corrosión.
- El principal factor que marca la diferencia en la utilización del método de postensado o pretensado es el proceso constructivo como tal de la estructura. En el caso de estructuras prefabricadas se utiliza el método de pretensado por la facilidad de producción en masa y para la fabricación de estructuras in situ es de mayor utilidad el método de postensado. Una de las ventajas del método de postensado frente al pretensado es que es más flexible y hace más eficiente el uso de las fuerzas de presfuerzo. Las pérdidas son menores y el curvado hacia

arriba de los cables en los apoyos aumenta la resistencia al cortante, aunque a diferencia del pretensado involucra ductos y anclajes permanentes.

- Durante la práctica se realizó un control de desperdicios de concreto y al final de la práctica se analizaron los resultados acumulados para cada elemento. Este análisis mostró que el desperdicio total en la construcción del puente está dentro de rangos admisibles. Este mecanismo de control es indispensable aplicarlo a cualquier obra, ya que por medio de este se puede detectar si el desperdicio de concreto no está dentro de los rangos normales y con esto tomar las medidas necesarias para evitarlo. Este control debe estar implementado dentro de un sistema de gestión de calidad de la empresa contratista.

- En el diseño de la formaleta, los parámetros más importantes a tener en cuenta son la velocidad de vaciado y la temperatura de la mezcla. Los dos deben ser cuantificados para elaborar el diseño. La velocidad de vaciado debe ser regular, es decir, el concreto debe ser descargado lo más uniformemente posible en una operación continua. La temperatura tiene que ver directamente en los tiempos de fraguado, si la temperatura es mayor, el fraguado del concreto se llevara a cabo en un tiempo menor por lo cual, el concreto endurecerá mas rápidamente y la carga sobre la formaleta será menor. Si la temperatura del concreto es menor, el fraguado será más lento, lo que producirá un aumento de cargas sobre la formaleta.

- En las obras de construcción, donde el concreto requiere grandes cantidades de cemento, se deben desarrollar ciertos mecanismos con el fin de evitar que el calor de hidratación del cemento produzca fisuras en el concreto. Si el aumento en la temperatura del concreto es significativamente alto y se produce un enfriamiento acelerado del mismo, se generan esfuerzos internos de tensión en el concreto que pueden producir fisuras antes o después de alcanzar su temperatura normal en estado endurecido. La capacidad de formación de grietas en el concreto depende de varios factores, como la resistencia a tensión del concreto, el coeficiente de expansión térmica, cambios internos de temperatura y restricciones externas sobre el elemento.

- El tipo de cemento menos recomendable para estructuras de concreto masivo es el cemento Tipo III, ya que este contiene sulfato tricalcico y aluminato tricalcico que son elementos que generan un alto calor de hidratación. El cemento Tipo II es el más recomendable por su bajo calor de hidratación, aunque se debe especificar esta característica, Cemento Tipo II de bajo calor de hidratación, porque no todos la tienen. El

cemento Tipo IV también es de bajo calor de hidratación, aunque no es tan fácil conseguirlo.

- Hay varios métodos que se pueden manejar para controlar el calor de hidratación del concreto. En primer lugar es importante utilizar cemento Tipo II de bajo calor de hidratación. Un método es la sustitución de parte del agua de amasado por hielo en escarcha que se suministra directamente sobre los mezcladores. Este método es el utilizado en la construcción del puente Barranca-Yondo. Otro método bastante aplicado es la refrigeración del hormigón colocado por circulación de agua fría a través de serpentines embebidos en su masa.
- Durante la practica se llevo un registro con los cotas de las dovelas antes del vaciado, después del vaciado y después del tensionamiento de los cables. En estos registros se pudo observar el descenso de las cotas después del vaciado, y que con el tensionamiento se presentaba un aumento del nivel. En las últimas es mayor la diferencia de cotas antes y después del vaciado, y esto se debe a que el peso del carro y del concreto producen un momento que al ser mayor la longitud del voladizo producen una mayor deflexión en el extremo. La longitud del voladizo no tiene un efecto aparente en el cambio de nivel por el tensionamiento, es decir, que al comienzo y al final del voladizo, se presentan los mismo cambios de nivel por el tensionamiento.
- De la misma manera que para el concreto, para el acero también se llevo un control de desperdicio. Aunque el desperdicio de acero es mas controlable, en ocasiones se utiliza acero que no esta en el diseño, y que esta destinado a realizar algunas actividades de detalles constructivos. Por ello se estimo en la obra un desperdicio máximo del 2%. Este valor es excedido hasta el momento en la obra por algunos aros constructivos de pilotes que no están estimados en el diseño.
- El análisis de rendimientos de mano de obra es otro método de control de presupuestos en una obra. Siempre se debe estimar al comienzo de una obra los rendimientos mínimos sobre los cuales no se considera que habrá pérdidas económicas para poder llevar este procedimiento. La estimación de este valor esta basado en la experiencia de obras anteriores similares. A partir de estos rendimientos también se pueden ejercer un control de la producción del personal que labora en la obra.
- Un ingeniero residente debe tener una visión global de toda la obra sin dejar a un lado ningún detalle en ninguno de los aspectos. Este se debe encargar de toda la construcción, incluso dirigiendo las fuerzas

productivas, recomienda los métodos de construcción, y selecciona el personal, equipo y materiales necesarios para realizar el trabajo.

- El carro de avance es la formaleta móvil para la construcción de las dovelas. Cada obra tiene determinadas características, lo cual obliga a que para cada obra el carro tenga que ser ajustado a esas características. Este trabajo debe hacerse en la obra antes de proceder a montarlo. Cuando ya está montado el carro el avance se hace en dos fases, avance de los rieles y avance de la estructura sobre estos rieles.
- Existen numerosos aspectos que se deben tener en cuenta para la definición de la rasante en el sistema de voladizos sucesivos. Entre estos factores se encuentra el cambio de nivel por el peso del carro de avance y del concreto, cambio de nivel por temperatura, y por tensionamiento.
- Realizar el curado del concreto es un procedimiento indispensable, en procura de obtener un concreto con una resistencia adecuada y durabilidad. El método de curado más recomendable es la utilización de agua, ya que algunos aditivos como el antisol, producen manchas en el concreto. Estos métodos también se pueden combinar. Cuando el curado se realiza con agua, este proceso se debe realizar por varios días, en el caso en que se realice solo un el primer día, es recomendable añadir una capa de aditivo de protección.
- En el sistema de voladizos sucesivos la construcción debe ser simétrica, con el fin de contrarrestar los esfuerzos y evitar grandes momentos de vuelco sobre la pila. Por ello las dovelas se deben fundir simultáneamente, y en caso de mayor número de anclajes para cables en uno de los voladizos se deben colocar contrapesos en el otro hasta equilibrar las cargas.
- En la construcción de puentes, la gran ventaja que ofrece el sistema de voladizos sucesivos en viga cajón es que se logran mayores luces que con otros sistemas, con deflexiones aceptables. Asimismo el sistema constructivo de viga cajón ofrece la ventaja que el modo de resistir las cargas en el proceso constructivo es el mismo de la estructura final, por el contrario, en la construcción de puentes en arco atirantados por voladizos sucesivos requiere de tirantes provisionales, y en general necesita más armadura durante la construcción que en el puente ya terminado, por lo cual se exige mayores costos.

- Una investigación interesante que podría llevarse a cabo en la construcción del Puente, es analizar profundamente el efecto de la corrosión en la durabilidad y resistencia del concreto, ya que se han realizado estudios sobre este fenómeno pero no lo suficientemente exhaustivos como para poder tomar alguna determinación sobre el nivel de corrosión permitido en el acero. Sobre esto se podrían desarrollar pruebas que conlleven a determinar si es permitido algún nivel de corrosión en el acero o si definitivamente debe estar libre de este efecto. Esta investigación es importante, dado que si se llega a permitir algún nivel de corrosión en el acero la empresa podría reducir gastos por mano de obra empleada en la limpieza del acero en la obra.

- Este tipo de practicas como la que se realizó en la construcción del Puente ofrecen un gran aporte al estudiante de ingeniería civil, ya que contribuyen a que obtenga su grado con alguna experiencia en el campo de trabajo, y tenga mejores bases teórico-practicas en el momento del inicio de su vida profesional cuando se encuentre en la dirección de un proyecto de construcción y a lo largo de su vida profesional. En el ejercicio de las actividades de la practica se confrontan los conocimientos teóricos que se han adquirido en la universidad con los detalles constructivos de trabajo de campo, que da como resultado una combinación muy importante para una preparación completa y una formación integral del estudiante de ingeniería civil.

BIBLIOGRAFIA

MERRITT. Frederick. Manual del ingeniero civil

A.H. Allen. Introducción al concreto presforzado. Instituto mexicano del cemento y del concreto

INSTITUO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS. Normas Colombianas para la presentación de trabajos. Segunda actualización. Santafe de Bogota D.C. ICONTEC, 1996. 126p. NTC 1307

Dywidag-Sistem Internacional

The Design Process of Segmental Bridges.

Conceptos básicos de diseño de elementos de concreto presforzado.

The Construction Process of Segmental Bridges

FARIAS GARCIA. Darío. Puentes por voladizos sucesivos.

GONZALEZ CUENCA. Alberto. El presforzado en la construcción de puentes "Materiales y Equipos". Sistemas especiales de construcción.

ANEXOS


ANEXO 1

CONCRETO S.A.

CONSTRUCCION DEL PUENTE SOBRE EL RIO MAGDALENA ENTRE BARRANCABERMEJA Y YONDÓ

TRAZABILIDAD DE CABLES DE DOVELAS

APOYO	DOVELA	CABLE	TIPO ANCHO	No. TORON	DIAMETRO	LONGITUD	CARRETE	CERTIFICADO	AREA
6	0	1	M-F	19	5/8	12,63	1543328	1578-BELGO	141,58
6	0	2	M-F	19	5/8	12,63	1543328	1578-BELGO	141,58
6	1	3	M-F	19	5/8	17,23	1543330	1578-BELGO	141,34
6	1	4	M-F	19	5/8	17,23	1543334	1579-BELGO	141,34
6	2	5	M-F	19	5/8	23,23	1543334	1579-BELGO	141,34
6	2	6	M-F	19	5/8	23,23	1543334	1579-BELGO	141,34
6	3	7	M-F	19	5/8	29,23	1543334	1579-BELGO	141,34
6	3	8	M-F	19	5/8	29,23	1543334	1579-BELGO	141,34
6	4	9	M-F	19	5/8	35,19	1543332	1579-BELGO	141,34
6	4	10	M-F	11	5/8	35,19	1543332	1579-BELGO	141,34
6	4	10	M-F	8	5/8	35,19	1543334	1579-BELGO	141,34
6	5	11	M-F	19	5/8	41,19	1543334	1579-BELGO	141,34
6	5	12	M-F	18	5/8	41,19	1543334	1579-BELGO	141,34
6	5	12	M-F	1	5/8	41,19	1543331	1579-BELGO	141,34
6	6	13	M-M	19	5/8	47,23	1543331	1579-BELGO	141,34
6	6	14	M-M	19	5/8	47,23	1543331	1579-BELGO	141,34
6	7	15	M-M	13	5/8	54,22	1543331	1579-BELGO	141,34
6	7	15	M-M	6	5/8	54,22	167379	8752-TYCSA	142,20
6	7	16	M-M	19	5/8	54,22	167379	8752-TYCSA	142,20
6	8	17	M-M	16	5/8	61,23	167379	8752-TYCSA	142,20
6	8	17	M-M	3	5/8	61,23	167289	8750-TYCSA	139,87
6	8	18	M-M	19	5/8	61,23	167289	8750-TYCSA	139,87
6	8	19	M-M	18	5/8	61,22	167289	8750-TYCSA	139,87

	ANEXO 2							QR10070597						
	Registro de Acciones Correctivas, Preventivas y de Mejora													
Fecha de Emisión	03/10/04	Tipo de acción	Correctiva	<input checked="" type="checkbox"/>	Preventiva	<input type="checkbox"/>	Mejora	<input type="checkbox"/>	# ACPM	012				
1. Descripción del problema. (Quién reporta y Aseguramiento de la calidad)														
Quién reporta el problema: Eduardo Sarmiento González.														
Descripción del problema: Falla de una de las repisas de la obra falsa de la losa entre ejes 3 y 4														
Es la primera vez que se detecta														
			Si	<input checked="" type="checkbox"/>	No	<input type="checkbox"/>	Prioridad		Alta	<input checked="" type="checkbox"/>	Media	<input type="checkbox"/>	Baja	<input type="checkbox"/>
Página: 1		Ing. Jorge campillo			Proceso			Reparar						
Este campo solo debe ser diligenciado por el EQUIPO DE CIUDAD														
Responsable de la ACPM														
2. Definición del plan inmediato a seguir. (Equipo de trabajo)														
Acción							Responsable		Fecha compromiso					
Colocacion de un elemento tubular similar al que se fracturo y de menor longitud, para reforzar la repisa							Eduardo Sarmiento		15/10/04					
3. Determinar causas raíces. (Equipo de trabajo)														
El rompimiento de la repisa se produjo por el deterioro del elemento debido a la oxidación que presentaba.														
4. Soluciones de largo plazo. (Equipo de trabajo)														
Solución							Responsable		Fecha compromiso					
La solución a largo plazo es el cambio de las repisas, ya que su mal estado de corrosion no se encuentran aptas para soportar las cargas requeridas							Jorge Campillo							
5. Verificación de la efectividad (Equipo de calidad)														
5.1. Soluciones planeadas														
Fecha		Observación												
21/10/04		Colocación de repisas de refuerzo a la obra falsa de las losas.												
5.2. Documentación														
Fecha		Observación												
5.3. Difusión y/o Entrenamiento de las personas implicadas														
Fecha		Observación												

