



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**GUÍA PRÁCTICA PARA SUPERVISIÓN Y CONTROL DE CALIDAD EN LA
CONSTRUCCIÓN DE PUENTES PARA CARRETERAS DE PRIMER ORDEN**

Leonel Amilcar Sitaví Tuyúc

Asesorado por el Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta

Guatemala, enero de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**GUÍA PRÁCTICA PARA SUPERVISIÓN Y CONTROL DE CALIDAD EN LA
CONSTRUCCIÓN DE PUENTES PARA CARRETERAS DE PRIMER ORDEN**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

LEONEL AMILCAR SITAVÍ TUYUC

ASESORADO POR EL ING. MANUEL ALFREDO ARRIVILLAGA OCHAETA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, ENERO DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco
EXAMINADOR	Ing. Armando Fuentes Roca
EXAMINADORA	Inga. Mónica Noamy Ramírez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

GUÍA PRÁCTICA PARA SUPERVISIÓN Y CONTROL DE CALIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN DE PUENTES PARA CARRETERAS DE PRIMER ORDEN

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha septiembre del 2008.



Leonel Amilcar Sitavi Tuyuc

MANUEL ALFREDO ARRIVILLAGA OCHAETA

**Ingeniero Civil
Colegiado 2473**

REF. GRAD.MAAO..001..2011

Guatemala,

14 de septiembre de 2011

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director
Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
USAC

Respetable Ingeniero Montenegro Franco.

Por medio de la presente, envío a usted el trabajo de graduación titulado: GUÍA PRÁCTICA PARA SUPERVISIÓN Y CONTROL DE CALIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN DE PUENTES PARA CARRETERAS DE PRIMER ORDEN.

Este trabajo lo desarrolló el estudiante LEONEL AMILCAR SITAVÍ TUYUC quien fue asesorado por el suscrito.

Por lo que, habiendo cumplido con los objetivos planteados y compartiendo la responsabilidad con el estudiante Sitavi Tuyuc, solicito darle el trámite correspondiente.

Sin otro particular, me es grato suscribirme de usted.

Atentamente.

"D Y ENSEÑAD A TODOS"



Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta.

Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta
Ingeniero Civil
Colegiado Número 2,473



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria-usac.edu.gt



Guatemala,
7 de noviembre de 2011

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **GUÍA PRÁCTICA PARA SUPERVISIÓN Y CONTROL DE CALIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN DE PUENTES PARA CARRETERAS DE PRIMER ORDEN**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Leonel Amilcar Sataví Tuyuc, quien contó con la asesoría del Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Lic. Manuel María Guillén Salazar
Jefe del Departamento de Planeamiento

Manuel María Guillén Salazar
ECONOMISTA
Colegiado No. 4750



FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO
DE
PLANEAMIENTO
USAC

/bbdeb.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria-usac.edu.gt



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta y del Jefe del Departamento de Planeamiento, Lic. Manuel María Guillén Salazar, al trabajo de graduación del estudiante Leonel Amilcar Sitaví Tuyuc, titulado **GUÍA PRÁCTICA PARA SUPERVISIÓN Y CONTROL DE CALIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN DE PUENTES PARA CARRETERAS DE PRIMER ORDEN**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
DIRECTOR
FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, enero de 2012.

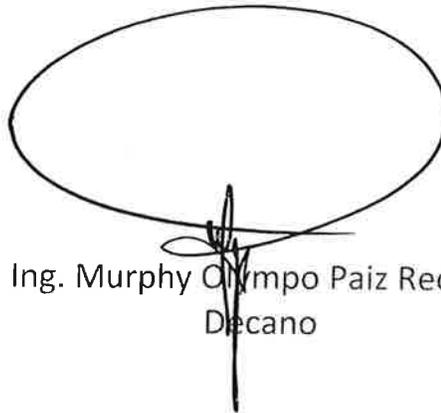
/bbdeb.



DTG. 027.2012

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **GUÍA PRÁCTICA PARA LA SUPERVISIÓN Y CONTROL DE CALIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN DE PUENTES PARA CARRETERAS DE PRIMER ORDEN**, presentado por el estudiante universitario **Leonel Amilcar Sitavi Tuyuc**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 23 de enero de 2012

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por darme la vida y poder cumplir una meta más de todas las etapas de mi vida.
- Mis padres** Encarnación Sitaví Mux y Guadalupe Tuyuc Balam, por todo el apoyo incondicional que recibí desde el inicio de mis estudios y la confianza de creer en mí para llegar a cumplir un sueño que ellos empezaron un día dándome la oportunidad de estudio.
- Mis hermanos** Hugo Horlando, Angélica Mari, Bairon y Luis Miguel por su apoyo incondicional y sus buenos consejos en todo momento.
- Mi esposa** Karla Alejandra, por ser parte de mi vida, ayuda mutua e incondicional que Dios me brindó, este laurel también es tuyo, te amo.
- Mi hija** Alejandra Isabel, por ser mi motivación y fortaleza, que este galardón sea una cátedra en su vida, que cuando se traza una meta se debe alcanzar sin importar las pruebas del camino.
- Mi sobrino** Para que mi experiencia sea una exhortación en su vida. Y alcanzar la meta se necesita esfuerzo y al final se obtiene el éxito.

Mis amigos	Que de una forma u otra estuvieron involucrados en apoyarme en la culminación de mi carrera
Mis padrinos	Por su apoyo y buenos consejos.
Mis compadres	Por brindarme su amistad sincera, la que ha consolidado nuestra convivencia fraterna.
Universidad San Carlos de Guatemala	Alma máter que me brindo sus puertas: gracias porque en ella forjé mis conocimientos, los cuales pondré al servicio del prójimo.

AGRADECIMIENTOS A:

**Ing. Manuel Alfredo
Arrivillaga Ochaeta**

Por su valiosa colaboración en la asesoría, revisión y corrección del presente trabajo.

A mis padres

Por el apoyo moral, espiritual, física, emocional, intelectual y económicamente que durante toda mi vida me han brindado.

A la Facultad de Ingeniería

Por haber participado durante toda mi formación académica.

A mis amigos

Todas las personas que de alguna manera colaboraron con el desarrollo del presente trabajo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
GLOSARIO	VII
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. GENERALIDADES	1
1.1. Topografía.....	3
1.2. Estudio de suelos.....	11
1.3. Estudio hidrológico e hidráulico	15
2. PLANES CONSTRUCTIVOS Y ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN.....	21
3. CONCEPTOS BÁSICOS DE ESTRUCTURAS DE DRENAJE MAYOR PUENTES.....	27
3.1. Subestructura.....	27
3.1.1. Pilotes y zapatas	27
3.1.2. Contrafuertes	32
3.1.3. Viga cabezal.....	32
3.1.4. Cortina.....	33
3.1.5. Bloques sísmicos	34
3.2. Superestructura.....	35
3.2.1. Vigas longitudinales	35
3.2.2. Diafragmas.....	36

3.2.3.	Losa	37
3.2.4.	Losa de acceso.....	37
3.2.5.	Pesamanos y banqueta	38
3.2.6.	Colocación de accesorios a la estructura	40
3.2.7.	Formaleta y obra falsa	43
4.	ELEMENTOS DEL SISTEMA DEL CONTROL DE CALIDAD	47
4.1.	Acero estructural.....	47
4.2.	Ensayos del agregado	55
4.3.	Calidad del agua.....	57
4.4.	Propiedades del concreto	59
4.5.	Clase de resistencia del concreto.....	60
4.6.	Ensayos del concreto	61
4.6.1.	Registros de ensayos	64
4.6.2.	Manejo y colocación del concreto.....	68
4.6.3.	Secuencia de colocación del concreto.....	72
4.6.4.	Reparaciones de grietas en estructuras de concreto.....	72
4.6.5.	Curado del concreto.....	76
4.6.6.	Acabados de concreto	79
4.6.7.	Ensayos de lechada	82
4.6.8.	Tensado de cables	83
5.	APLICACIÓN PRÁCTICA EN EL PROYECTO LOS ENCUENTROS NAHUALÁ.....	89
5.1.	Descripción general del proyecto.....	89
5.1.1.	Condiciones topográficas.....	90
5.1.2.	Condiciones climatológicas.....	90
5.1.3.	Condiciones geográficas.....	91
5.2.	Estudio hidrológico e hidráulico	92

5.3.	Procedimientos y aspectos a supervisar en la construcción de la subestructura.....	93
5.4.	Procedimientos y aspectos a supervisor en la contrucción De la superestructura	97
5.5.	Resultados de ensayos.....	103
CONCLUSIONES		105
RECOMENDACIONES.....		107
BIBLIOGRAFÍA.....		109

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Excavación para pilote	29
2.	Compactación estribo de salida.....	33
3.	Construcción de bloques sísmicos	34
4.	Sección transversal de la superestructura.....	35
5.	Diafragmas internos y externos	36
6.	Construcción de losa de Neopreno	38
7.	Detalle de apoyos de acceso.....	43
8.	Construcción de obra falsa puente Stan I.....	45
9.	Asentamiento del concreto	62
10.	Procedimiento para el ensayo de peso unitario.....	63
11.	Procedimiento para ensayo de temperatura.....	64
12.	Limpieza de superficie de grieta	73
13.	Colocación de pasta	73
14.	Colocación de inyectores	74
15.	Verificación del sello	74
16.	Proceso de inyectado a la grieta	75
17.	Limpieza superficial de la grieta	76
18.	Curado por compuestos sellantes	78
19.	Acabado de superficie de rodadura	79
20.	Reparación de acabado de superficie	80
21.	Preparación de lechada.....	83
22.	Métodos de pretensado.....	84

23.	Método de postensado	85
24.	Perfil puente Stan I.....	89
25.	Base de zapata puente Argueta.....	94
26.	Armado de viga puente Novillero	98
27.	Armado de losa puente Argueta.....	99
28.	Textura de Rodadura puente Novillero	100
29.	Estribo de entrada puente Stan II.....	101
30.	Preparación de lechada para conductos puente Stan I	102

TABLAS

I.	Propiedades de alambres sin revestimiento.....	54
II.	Propiedades del torón de 7 alambres sin revestimiento.....	55

GLOSARIO

Aditivo	Sustancias que mejoran o incluyen características a los materiales.
Aforo	Es la cantidad de fluido en función del tiempo.
Agregados	Son materiales granulares sólidos inertes que se emplean en los puentes y con granulometrías adecuadas; se utilizan para la fabricación de productos artificiales resistentes, mediante su mezcla con materiales aglomerantes de activación hidráulica (cementos, cales, etc.)
Altimetría	Parte de la topografía que comprende los métodos y procedimientos para determinar y representar la altura o cota de cada uno de los puntos respecto a un plano de referencia. Con ella se consigue representar el relieve del terreno.
Anclaje	Enlace de las partes de una construcción mediante elementos metálicos (tirantes, pernos, anclas, etc.) que aseguran la inmovilidad del conjunto.

ASTM	Sociedad Americana para Prueba de Materiales.
Base de licitación	Es una forma de contratación, es usada por el Estado para adquirir productos, servicios, concesiones, etc. Puede ser pública o privada.
Calicatas	Excavación del terreno para observarlo directamente para estudiar en forma detallada el perfil de un suelo o de una formación superficial.
Caudal	Volumen de agua escurrida en la unidad de tiempo.
Cota	Altura con respecto a un punto.
Diafragma	Es una lámina o armadura colocada en un punto horizontal que transmite las fuerza laterales a los marcos verticales y a muros cortantes.
Disposiciones especiales	Establecer e identificar las condiciones adicionales que debe cumplir su diseño o producto, para satisfacer los objetivos de construcción definidos por la institución solicitante.

Ensayos	Consiste en someter una deformación plástica una probeta recta de sección plena, circular.
Especificaciones	El vocablo general aplicado a todas las normativas, disposiciones y requisitos, relativos a la ejecución de la obra.
Especificaciones generales	Las especificaciones contenidas en este manual.
Especificaciones técnicas	Complemento y/o revisión de las especificaciones generales, que abarcan las condiciones peculiares de una obra individual.
Estructura	Es el conjunto de elementos resistentes, convenientemente vinculados entre sí, que accionan y reaccionan bajo los efectos de las cargas. Su finalidad es resistir y transmitir las cargas del puente a los apoyos, sin sufrir deformaciones incompatibles.
Formaleta	Son las estructuras de encofrado temporales o moldes, utilizados para retener al hormigón fluido, con la forma en que fue diseñado hasta que se endurezca. Los encofrados deben tener suficiente resistencia para resistir la presión ejercida por el concreto plástico y las presiones adicionales generadas por la vibración.

Obra falsa	Es la estructura temporal que sirve para soportar las cargas sin causar deformación y asentamiento perjudiciales y para detener las formaletas antes o después de la colocación del concreto
Planos	Los planos son la representación gráfica y exhaustiva de todos los elementos que plantea un proyecto.
Planimetría	Parte de la topografía que comprende los métodos y procedimientos para determinar y representar la medición plana o distancia. Con ella se consigue representar la geometría del terreno.
Sección transversal	La sección vertical del terreno o estructura en ángulo recto respecto a la línea de centro o línea base del firme u otro elemento de la obra
Topografía	Ciencia que tiene por finalidad determinar la forma y dimensiones de un terreno o lugar de la superficie terrestre para representarlo gráficamente con todo detalle.

RESUMEN

En los últimos años se han intensificado las investigaciones relacionadas con el mejoramiento de los materiales utilizados en obras de ingeniería, con el objetivo de mejorar sus propiedades y economizar costos de fabricación. Una de las maneras para verificar el control de calidad de los materiales es realizar ensayos a los materiales con una buena supervisión.

La finalidad de un procedimiento es determinar que las operaciones se realicen del mismo modo. La necesidad de garantizar una regla rígida para la uniformidad del tratamiento de las operaciones periódicas tiene su razón de ser en algunos motivos fundamentales, como asegurarse que sean respetadas las normas o reglamentos establecidos. Esta guía de procedimientos es un documento que contiene la descripción de las tareas y actividades que deben seguirse para la construcción de los diferentes elementos estructurales del puente.

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.

El proceso de construcción adecuado será el que necesite los mínimos medios de fabricación y montaje, o los mínimos materiales adicionales para poder resolver la construcción, es decir, para conseguir que las estructuras parciales se soporten a sí mismas y soporten la fase siguiente

Los problemas señalados y muchos otros particulares de cada proyecto llevarán en cada caso a adoptar el tipo de estructura, el material, y el proceso de construcción, más adecuados para el puente que se quiere construir.

OBJETIVOS

General

Generar un instrumento práctico en el cual se definan los criterios que el profesional debe tomar en cuenta tanto sobre control de calidad en los materiales de construcción de puentes vehiculares de concreto reforzado, fundido en carreteras nacionales de primer orden y su supervisión.

Específicos

1. Controlar y chequear los procedimientos a seguir para lograr una supervisión eficiente y eficaz.
2. Proporcionar al personal encargado de la supervisión de proyectos de construcción, los mecanismos que faciliten el control adecuado de las obras que se ejecutan.
3. Indicar el procedimiento para proporcionar periódicamente la información cualitativa y cuantitativa del desarrollo de las obras
4. Mejorar la calidad de las obras y optimizar la utilización de los recursos a fin de incrementar la productividad.
5. Considerar factible, el logro de supervisión por personal no profesional en la materia, pero si capacita a través de una orientación de esta guía.

INTRODUCCIÓN

Los proyectos se convierten en simples documentos de archivo o fracasos, si no existe una supervisión, para garantizar la calidad misma de la obra, consecuentemente surge la necesidad de contar con instrumentos que apoyen dicho acompañamiento técnico, siendo esta la razón fundamental para la elaboración de esta guía práctica para la supervisión y control de calidad de puentes carreteros de primer orden.

Al analizar el nivel de complejidad de las obras ejecutadas y la capacidad técnica instalada en los proyectos, se detectó la necesidad de contar con una guía para la supervisión, que pudiera constituirse en un auxiliar para el trabajo en campo, sin que sustituya al técnico-profesional necesario, este instrumento puede ser de suma utilidad para los diferentes fondos que ejecutan proyectos de construcción, así como para las municipalidades, instituciones públicas, organizaciones no gubernamentales y empresas privadas en general.

En consecuencia, un supervisor necesita poseer conocimientos teóricos de la actividad que debe observar de la institución que integra y de la solución de los problemas que se plantean. Un supervisor no es la persona que ordena, sino la que orienta, no dice lo que hay que hacer sino lo que se debe de hacer, consecuentemente es una persona lógica y ordenada en el pensamiento, claro y sencillo en los trabajos del proyecto que se está ejecutando. Para definir el tipo y condiciones de supervisión de una obra, existen muchos factores que influyen en los aspectos generales como, magnitud de la obra, su grado de complejidad o especialidad, ubicación y accesibilidad a la misma, la etapa de ejecución en que se encuentre la obra, etc.

La supervisión de elementos básicos, para realizar con objetividad y seguridad la misma, entre los que sobresalen la subestructura y superestructura. Los documentos vinculados con la ejecución del proyecto, instrumentos de campo, capacitación del personal, apoyo logístico y los documentos resultados de la supervisión. Es importante tomar en cuenta que es necesario obtener planos, especificaciones técnicas, especificaciones económicas, especificaciones especiales y el cronograma de ejecución de obra para lograr un adecuado control de calidad de cualquier elemento estructural del puente que se desee trabajar.

La importancia de conocer los materiales que se utilizaran en la obra para verificar la calidad o las características mínimas que deben de tener o los ensayos necesarios que se le practicaran antes de la utilización o autorización de la misma.

1. GENERALIDADES

Definición

Puente es una construcción, por lo general artificial, que permite salvar un accidente geográfico o cualquier otro obstáculo físico como un río, un cañón, un valle, un camino, una vía férrea, un cuerpo de agua, o cualquier obstrucción. El diseño de cada puente varía dependiendo de su función y la naturaleza del terreno sobre el que el puente es construido.

Su proyecto y su cálculo pertenecen a la ingeniería estructural, siendo numerosos los tipos de diseños que se han aplicado a lo largo de la historia, influidos por los materiales disponibles, las técnicas desarrolladas y las consideraciones económicas, entre otros factores.

Antecedentes

La necesidad humana de cruzar pequeños arroyos y ríos fue el comienzo de la historia de los puentes. Hasta el día de hoy la técnica ha pasado desde una simple losa hasta grandes puentes colgantes que miden varios kilómetros y que cruzan bahías. Los puentes se han convertido a lo largo de la historia no solo en un elemento muy básico para una sociedad sino en símbolo de su capacidad tecnológica.

Los puentes tienen su origen en la misma prehistoria. Posiblemente el primer puente de la historia fue un árbol que usó un hombre prehistórico para conectar las dos orillas de un río.

También utilizaron losas de piedra para arroyos pequeños cuando no había árboles cerca. Los siguientes puentes fueron arcos hechos con troncos o tablones y eventualmente con piedras, usando un soporte simple y colocando vigas transversales. La mayoría de estos primeros puentes eran muy pobremente contruidos y raramente soportaban cargas pesadas. Fue esta insuficiencia la que llevó al desarrollo de mejores puentes.

El arco fue usado por primera vez por el Imperio romano para puentes y acueductos, algunos de los cuales todavía se mantienen en pie. Los puentes basados en arcos podían soportar condiciones que antes se habrían llevado por delante a cualquier puente.

Los romanos también usaban cemento, que reducía la variación de la fuerza que tenía la piedra natural. Un tipo de cemento, llamado puzolana, consistía en agua, lima, arena y roca volcánica. Los puentes de ladrillo y mortero fueron contruidos después de la era romana, ya que la tecnología del cemento se perdió y más tarde fue redescubierta.

Durante el siglo XVIII hubo muchas innovaciones en el diseño de puentes con vigas por parte de Hans Ulrich, Johannes Grubenmann, y otros. El primer libro de ingeniería para la construcción de puentes fue escrito por Hubert Gautier en 1716.

Con la Revolución industrial en el siglo XIX, los sistemas de celosía de hierro forjado fueron desarrollados para puentes más grandes, pero el hierro no tenía la fuerza elástica para soportar grandes cargas. Con la llegada del acero, que tiene un alto límite elástico, fueron contruidos puentes más largos, en su mayoría utilizando las ideas de Gustave Eiffel.

1.1. Topografía

Un informe sobre los estudios topográficos llevados a cabo para la construcción de un puente, es necesario que se rindan los siguientes datos:

- Origen del kilometraje.
- Plano en planta, a escala 1:200, mostrando el eje del camino, curvas de nivel, dirección del cauce, construcciones cercanas y datos importantes.
- Angulo que forma el camino con el eje de la corriente.
- Elevación y descripción del banco de nivel más próximo.
- Planos de localización correspondientes a un kilómetro a cada lado de la obra.
- Elevación de la sub-rasante que resulte más adecuada.

Un estudio topográfico ejecutado de forma apropiada permite realizar, satisfactoriamente, la ubicación de un puente para salvar un río o un barranco; También será necesario hacer observaciones de la zona por diferentes medios: con fotografías del lugar, mapas de la zona y recorridos del terreno para inspección personal.

El levantamiento topográfico es útil para definir aspectos de funcionamiento hidráulico del río cuando se presentan las crecientes como: zonas de inundación y exposición a la erosión.

Para el eje definitivo se debe realizar un levantamiento topográfico detallado para una franja de 50 a 100 metros de ancho. Se debe indicar, en el levantamiento topográfico, la sección transversal del río en el eje del cruce y marcar el nivel del agua alcanzado en las crecientes máximas extraordinarias.

El eje definitivo se debe señalar con marcas regularmente de concreto para realizar el replanteo, cuando se efectúe la construcción y la supervisión de los elementos estructurales en el lugar correcto. Para los levantamientos topográficos se pueden emplear diferentes aparatos y métodos. El ingeniero es el encargado de determinar criterios en cuanto a métodos, aparatos y precisión requerida. Se pueden realizar estos levantamientos, en la mayoría de los casos, con tránsito.

Los trabajos topográficos para las construcciones incluyen generalmente:

- Un levantamiento topográfico del lugar, para utilizarse en la preparación de los planos de las estructuras;
- El establecimiento en el terreno de un sistema de estacas o de otras marcas, tanto en planta como en elevaciones, de las cuales se pueden tomar medidas para las terracerías y para las estructuras por el personal encargado de la construcción;
- Dar línea y niveles según sea necesario, para reponer las estacas movidas por la construcción o para localizar puntos adicionales en la misma estructura; y
- Hacer las medidas necesarias para comprobar la posición de las partes de la estructura y para determinar el volumen de trabajo ejecutado a una fecha determinada (generalmente cada mes), como una base para el pago al contratista.

En conexión con la construcción, a menudo es necesario hacer levantamientos de los linderos como base para la adquisición de terrenos o derechos de vía. Los métodos detallados que se emplean en los levantamientos para la construcción varían con el tipo, situación y tamaño de la estructura y con la preferencia que tengan las organizaciones de ingeniería y de construcción.

Depende de la pericia del topógrafo con el objeto de que se dé la información correcta sin confusión ni esfuerzos innecesarios. El levantamiento topográfico del lugar de la estructura debe incluir terrenos adyacentes que tengan la probabilidad de utilizarse para la planta de construcción, caminos, o estructuras auxiliares. Las fotografías aéreas son auxiliares útiles para la planeación de la construcción.

Alineamiento

Generalmente se clavan estacas y otras marcas temporales en los vértices de la estructura propuesta, como una guía aproximada para empezar la excavación. Fuera de los límites de la misma, o de donde se puedan mover, pero lo suficientemente cerca para que resulten cómodas, se colocan estaciones permanentes bien referidas.

Pueden ponerse señales permanentes o marcas para orientar cómodamente el tránsito en las líneas principales de la estructura y para visar a lo largo de esas líneas a ojo. Se colocan estacas u otras señales en todas las líneas importantes para marcar con claridad los límites de la obra. En muchos casos, la línea y la rasante se dan más cómodamente en tablas clavadas en estacas que con estacas.

Esas tablas son, generalmente, de 2,5 X 15 cm clavadas en unos postes fuertes (generalmente, con una sección de 5 X 10 cm) con la tabla horizontal estando su canto superior a un número entero de metros arriba o debajo de la rasante.

El alineamiento se fija clavando un clavo en el canto superior de la tabla. Entre cada dos de estas tablas se estira una cuerda fuerte o alambre para marcar la línea y la rasante. A menudo, no es posible establecer señales permanentes en la línea de la estructura. En este caso, la línea del levantamiento se traza paralela a la de la estructura, tan cerca como sea posible a una distancia que sea un número entero de metros.

Rasante

Se establece un sistema de bancos de nivel cerca de la estructura, en lugares favorables, que probablemente no estén sujetos a cambiarse. Se tomarán los cuidados posibles para conservar los bancos de nivel de los levantamientos estatales o federales, si durante la construcción es necesario quitar esos bancos se deberá notificar a la dependencia correspondiente y los bancos se cambiarán de acuerdo con sus instrucciones. Las diferentes rasantes y elevaciones se definen en el terreno por medio de trompos y de tablas clavadas en postes, como guías para los trabajadores. Los trompos que marcan las rasantes pueden o no ser los mismos que sirven para dar línea.

Cuando se usan estacas, se pueden tomar las medidas verticales de la cabeza de la estaca, de una marca de crayón o de un clavo puesto de un costado de la estaca o (para excavación) de la superficie del terreno donde se encuentra la estaca; para evitar equivocaciones, solamente se empleará un sistema de puntos de referencia para las medidas en cada clase de trabajo.

Cuando se utilizan tablas clavadas en postes las medidas verticales se toman del canto superior de la tabla, cuando es horizontal. Las estacas o las tablas se pueden colocar a la rasante. Cuando se va a clavar una estaca de manera que su cabeza quede a una elevación dada, el estadalero comienza a clavarla y luego coloca el estadal sobre la estaca.

El nivelador lee el estándar y dice la distancia en que debe encajarse la estaca para que llegue a la rasante. El estadalero clava la estaca la cantidad deseada y se toma una segunda lectura de estadal; continuando de esta manera el proceso hasta que la lectura del estadal sea igual a la diferencia entre la altura de instrumento y la elevación deseada. Se puede utilizar una marca o un clavo en uno de los costados de la estaca en vez de la cabeza de la misma. En algunos casos, se corta con un serrote a la elevación deseada. Si la elevación de la rasante está a corta distancia de la elevación del terreno, a menudo se hace un hoyo en el terreno para colocar la estaca a la rasante.

Precisión

Para hacer excavaciones únicamente, por lo general, las elevaciones se dan con la aproximación de un centímetro. Para los puntos de la estructura se aproxima al milímetro. La aproximación al milímetro es suficiente para los tipos de construcción con referencia al alineamiento, pero puede ser necesaria una precisión mayor para las estructuras de acero prefabricadas o miembros.

Es conveniente dar las dimensiones a los trabajadores en metros, decímetros, centímetros y milímetros. Ordinariamente las medidas al centímetro son suficientemente precisas, pero para algunas de las medidas empleadas en la construcción de edificios y de puentes, deberán darse con la aproximación del milímetro. Determinación de los puntos por intersecciones.

Cuando las condiciones hacen el uso de la cinta difícil o imposible, a menudo los puntos se establecen en la intersección de dos líneas de tránsito visando simultáneamente con dos tránsitos en posiciones conocidas. El proceso es el inverso del que se emplea en la localización de un punto por el método de las intersecciones. Por este método, se pueden localizar los puntos en elevaciones y en planta. La precisión de la medida se hace de acuerdo con los requisitos de la construcción.

Topografía en la construcción de puentes

En el caso de puentes sobre cursos de agua deberá hacerse un levantamiento detallado del fondo. También se debe detallar la instrumentación utilizada y el grado de precisión a considerarse. La topografía de la zona deberá registrarse con planos, curvas de nivel, topografías, registros digitales e informes.

Son necesarios además del reconocimiento cuatro tipos de trabajos topográficos que pueden combinarse entre sí y que son: levantamientos preliminar, levantamiento par el proyecto trabajos para el control de la situación del puente y replanteo.

Tipos de trabajos para levantamientos

- Levantamiento preliminar: consiste en un levantamiento topográfico en el lugar donde se va a realizar la estructura y puede ser necesario según la magnitud de la obra de unas pocas secciones transversales en los extremos o en el caso de un puente de gran magnitud requerir levantamiento aéreo, debe estar representada la carretera precisamente y es necesario un levantamiento hidrográfico completo que incluye el

estudio del área de escurrimiento que alimenta a la fuente de agua de los efectos del régimen de corriente y de las mareas o avenidas.

- Levantamiento para el proyecto: una vez ubicada la estructura es imprescindible reunir los datos topográficos exactos para utilizar los detalles del proyecto, o sea en el caso que no se ocupa la ubicación exacta de los estribos y pilas de puente, en caso de ser de varias luces con la selección tomando en cuenta el factor económico en general los trabajos para este tipo de proyectos tiene que ser exacto y cuidadosamente comprobados.
- Levantamiento para el control de situación: a partir de los dos anteriores, el levantamiento para control de ubicación definitiva del puente corresponde a una de las partes más importantes del trabajo que se realizan de una parte más importantes del trabajo que se realizan de una manera independiente y con especial cuidado.
- Replanteo: una vez concluidos los cálculos de situación se procede a señalar los puntos principales o básicos y desde ellos se localizan los puntos para el proceso constructivo. El trabajo a veces requiere de las plataformas auxiliares y tratándose de estructuras para alimentarse bajo el agua se tiene que observar seguimientos muy exactos de localización y control.
- Trabajo complementario: es necesario establecer de inmediato el sistema de control tanto horizontal y vertical con una poligonal o triangulación enlazada a la poligonal principal y una línea de nivelación mediante nivelación recíproca que asegura la exactitud del paso de una rivera a otra y como los puntos de referencia o básicos se han usado algunas veces.

Dichos puntos como son, vértices o estaciones deben ser establecidos de una manera permanente mediante señales de hormigón

Requisitos de una triangulación

Se sitúa una estación primaria próxima a cada uno de los extremos de la estructura y además puntos desde los cuales pueden ubicarse las pilas del puente por intersección el sistema estará formado por 1 ó 2 cuadriláteros siendo uno de sus lados la base, las dos bases constituyen lados completos de los cuadriláteros, las estaciones se ubican en sitios desde donde las bases pueden medirse en forma expedita, frecuentemente se levantan uniones cortas desde un extremo por la base a una estación de triangulación situado en un lugar destacado.

Las curvas horizontales de enlace son curvas circulares y se clasifican en simples y compuestas. Las simples están constituidas por un tramo de una sola circunferencia que enlaza dos alineaciones constituida por las prolongaciones de las líneas de intersección, los elementos que deben determinarse conocerse para llegar a trazar una curva circular son, el grado de la curva es el ángulo al centro correspondiente a una cuerda unitaria, g' o subgrado es el residuo angular que queda luego de replantear varias cuerdas unitarias; o sea el residuo de la división del ángulo de deflexión para el grado.

El grado correspondiente a una cuerda de 20 metros generalmente no debe pasar de 10° grados ya que para ese valor el radio es mayor de 100m y el arco se aproxima en su longitud a la cuerda para curvas con grados entre 10 y 20, que se usan cuerdas unitarias de 10 metros y para grados entre 20 y 40 se usan cuerdas unitarias de 5 metros En carreteras el radio de la curva tiene que ser lo suficientemente grande para evitar curvas forzadas en camino de 2°

orden se acepto un mínimo de 35m de radio que corresponde a un grado $g = 35$ grados en carreteras de primer orden.

Se busca obtener curvas con radios mayores a los 100m en líneas férreas debido a que la fricción de ruedas es un radio aumenta con la curvatura lo mínimo que se acepta es un radio igual a 200m que corresponde aproximadamente un valor de $g = 6$ grados, los rayos de los canales depende de muchos factores tales como la velocidad del fluido, la pendiente, el ancho del canal, el tirante de agua, etc.

1.2. Estudio de suelos

Antes de cualquier tipo de construcción se debe levantarse el perfil aproximado del suelo y subsuelo, a fin de conocer la clase, características y capacidad soporte del terreno que va a servir de cimentación.

Debe efectuarse, en primer lugar, un estudio de carácter geológico del sitio y zonas adyacentes y luego, obtenerse muestras del terreno para efectuar los análisis físicomecánicos correspondientes. El estudio debe considerar exploraciones de campo y ensayos de laboratorio, cuya cantidad será determinada en base a la envergadura del proyecto, en términos de su longitud y las condiciones del suelo. Los estudios deberán comprender la zona de ubicación del puente, estribos, pilares y accesos.

Los estudios geotécnicos comprenderán:

- Ensayos de campo en suelos y/o rocas.
- Ensayos de laboratorio en muestras de suelo y/o roca extraídas de la zona.

- Descripción de las condiciones del suelo, estratigrafía e identificación de los estratos de suelo o base rocosa.
- Definición de tipos y profundidades de cimentación adecuada, así como parámetros geotécnicos preliminares para el diseño del puente a nivel de anteproyecto.
- Presentación de los resultados y recomendaciones sobre especificaciones constructivas y obras de protección.

Al momento de realizar cualquier proyecto de infraestructura somos conscientes de la necesidad fundamental de conocer datos del terreno donde actuaran las cargas estructurales, con el fin de prever el comportamiento del mismo a los esfuerzos y usos a los que se verá sometido. Los sondeos de investigación los alternamos con ensayos de penetración, como ensayo de penetración dinámica ligera, penetración estándar (S.P.T.), toma de muestras inalteradas, los cuales son correlacionadas con los parámetros obtenidos en los ensayos de penetración, podemos interpretar adecuadamente la caracterización geotécnica del terreno, completándolos con estudios en el laboratorio para acabar definir las características físicas y químicas del terreno.

Un estudio tiene por objeto investigar el subsuelo del terreno asignado al proyecto, por medio de trabajos de campo a través de pozos de exploración o calicatas a cielo abierto, ensayos de laboratorio estándar y especiales a fin de obtener las principales características físicas y mecánicas del suelo, sus propiedades de resistencia y deformación y la agresividad química de sus componentes y labores de gabinete en base a los cuales se define los perfiles estratigráficos, tipo y profundidad de cimentación, capacidad portante admisible, asentamientos, y las recomendaciones generales para la cimentación.

El estudio de suelos consta de

- Reconocimiento del terreno
- Distribución y ejecución de calicatas
- Toma de muestras disturbadas
- Ejecución de ensayos de laboratorio
- Evaluación de los trabajos de campo y laboratorio
- Perfiles estratigráficos
- Análisis de la capacidad portante admisible
- Determinación de asentamientos
- Análisis de Sales agresivas al concreto
- Conclusiones y recomendaciones

La actividad que comprende la investigación del subsuelo, el análisis y recomendaciones necesarias para el diseño y construcción de obras en contacto con el suelo de tal manera que garanticen un adecuado funcionamiento de la edificación.

Estudio de suelos preliminar

Es el trabajo general realizado para aproximarse a las características geotécnicas del terreno con el fin de establecer las condiciones en las que se encuentra el suelo y así mismo poder realizar el proyecto, este estudio no es de carácter obligatorio pero se recomienda para proyectos especiales o de magnitud considerable . Su realización no puede reemplazar al estudio geotécnico definitivo.

Se define como estudio geotécnico el trabajo realizado para un proyecto específico, el cual el ingeniero geotecnista debe consignar todo lo relativo a las

condiciones físico mecánicas del subsuelo y recomendaciones particulares para el diseño y construcción de todas las obras relacionadas conforme a las normas.

Las grietas en la estructura suponen asentamientos diferenciales importantes, generalmente acompañados de giros e incluso vuelcos de la estructura. Solamente a través de un estudio geotécnico preciso podemos aproximarnos con cierta verosimilitud a conocer la carga que puede soportar un terreno sin que presente asentamientos mayores a los admisibles. Con unos datos fiables resultantes de la prospección realizada y la justificación geotécnica podemos definir una cimentación lo más adecuada posible tanto para el tipo de estructura como para el terreno sobre el que se va a construir.

El estudio geotécnico debe contener los siguientes aspectos como mínimo:

- Nombre, plano de localización, objetivo del estudio, descripción general del proyecto, sistema estructural y cargas.
- La investigación al subsuelo donde vamos a construir teniendo en cuenta los orígenes morfológicos el origen geológico sus características debidamente fundamentadas y la descripción de los niveles de agua subterráneas.
- Análisis geotécnicos: resumen y los análisis justificación de los criterios geotécnicos adoptados que incluyan los aspectos contemplados.
- Las recomendaciones para el diseño: los parámetros geotécnicos para el diseño estructural de un proyecto como los tipos de cimentación,

profundidad de apoyo, presiones admisibles, asentamientos calculados, tipos de estructuras de contención parámetros para su diseño.

- Las recomendaciones para construcción procedimientos de construcción tolerancia de los elementos de cimentación instrumentación verificaciones y controles.
- En el informe se debe incluir planos de localización regional y del proyecto registro de perforación y resultado de campo y de laboratorio y sus justificaciones.

1.3. Estudio hidrológico e hidráulico

Los estudios hidrológicos son fundamentales para el diseño de obras hidráulicas, para efectuar estos estudios se utilizan frecuentemente modelos matemáticos que representan el comportamiento de toda la cuenca sustentada por la obra en examen; la operación optimizada del uso de los recursos hídricos en un sistema complejo de obras hidráulicas, sobre todo si son de usos múltiples.

El correcto conocimiento del comportamiento hidrológico de como un río, arroyo o de un lago es fundamental para poder establecer las áreas vulnerables a los eventos hidro meteorológicos extremos, para prever un correcto diseño de infraestructura vial, como caminos, carreteras, puentes, etc.

Estudios Hidrológicos en Proyectos de Ingeniería

La búsqueda de la información básica que se requiere para iniciar el estudio hidrológico comprende una investigación exhaustiva en las entidades oficiales y particulares que tienen relación con la región particular donde está localizada el área del proyecto. Mediante esta investigación se hace un inventario que incluye los siguientes aspectos:

Localización

En los proyectos de ingeniería se define inicialmente la zona de estudio que es el área de influencia del proyecto. En esta zona se delimitan tanto las áreas que van a ser beneficiadas por el proyecto como las cuencas vertientes de las corrientes naturales que las cruzan y de las que se seleccionan para ser utilizadas como captaciones.

Cartografía

Dentro de la información cartográfica se incluyen los mapas con curvas de nivel a escalas entre 1:100 000 y 1:5 000, las fotografías aéreas y las imágenes de radar y de satélite. Esta información se procesa para determinar las características morfométricas, de capacidad de almacenamiento, y de suelos y uso de la tierra de las cuencas vertientes y de las zonas de importancia dentro del proyecto.

Hidrometeorología

En el aspecto hidrometeorológico se recolecta información sobre las variables del clima, la precipitación, los caudales y niveles de las corrientes

naturales y los sedimentos que transportan las corrientes. Por lo general esta información se recolecta en forma de Series de tiempo históricas, las cuales se procesan con métodos estadísticos y probabilísticos para determinar regímenes medios y proyecciones futuras. El tratamiento de estas series se realiza de acuerdo con el tipo de proyecto que se va a desarrollar y para ello se utilizan los conceptos de Hidrología Aplicada e Hidrología Estocástica.

Hidrología Estocástica

La Hidrología Estocástica aplica la teoría de los procesos estocásticos, que son parte de la Ingeniería de sistemas, al estudio de los eventos hidrológicos.

Los eventos hidrológicos, tales como aguaceros, caudales, niveles de embalse, etc. son eventos estocásticos. Se caracterizan porque, de un lado tienen un patrón medio de comportamiento a largo plazo y por el otro el pronóstico de sus magnitudes en un momento dado tiene un mayor o menor grado de incertidumbre.

Los proyectos que se diseñan hoy serán construidos y operarán en los próximos años. Por esta razón, cuando los estudios hidrológicos definen unos caudales de diseño para abastecer un acueducto o para proteger una zona contra las inundaciones debe tenerse en cuenta que tanto la ocurrencia como las magnitudes de esos caudales son pronósticos hacia el futuro de eventos probables que están sujetos a un grado de incertidumbre.

La proyección hacia el futuro se basa en la combinación de la estadística y la teoría de la probabilidad. Con la estadística se realiza el análisis de frecuencias de los eventos históricos y se definen los parámetros que

determinan el patrón general de comportamiento. Con estos parámetros y con la aplicación de la teoría de la probabilidad se hace el pronóstico de lo que puede esperarse en el futuro, dentro de cierto nivel de riesgo.

Uso de la tierra

Debe hacerse un análisis de uso actual y de las proyecciones de desarrollo futuro. Dentro de este aspecto se incluyen las clasificaciones de los suelos y la determinación de áreas potencialmente erosionables.

Monografías y estudios regionales

Se recomienda la recolección de monografías y publicaciones especializadas sobre la zona. Además, deben hacerse consultas en las empresas públicas municipales, corporaciones regionales e instituciones nacionales de los sectores eléctrico, agropecuario y de salud pública sobre desarrollos de ingeniería en la región.

Los objetivos de estos estudios son establecer las características hidrológicas de los regímenes de avenidas máximas y extraordinarias y los factores hidráulicos que conllevan a una real apreciación del comportamiento hidráulico del río que permiten definir los requisitos mínimos del puente y su ubicación óptima en función de los niveles de seguridad o riesgos permitidos o aceptables para las características particulares de la estructura.

Los estudios de hidrología e hidráulica para el diseño de puentes deben permitir establecer lo siguiente:

- Ubicación óptima del cruce
- Caudal máximo de diseño hasta la ubicación del cruce

- Comportamiento hidráulico del río en el tramo que comprende el cruce
- Área del flujo a ser confinada por el puente
- Nivel máximo de agua (NMA) en la ubicación del puente
- Nivel mínimo recomendable para el tablero del puente.
- Profundidad de socavación general, por contracción y local
- Profundidad mínima recomendable para la ubicación de la cimentación, según el tipo de cimentación
- Obras de protección necesarias

Para esto deben establecerse las características hidrogeodinámicas del sistema fluvial con el objeto de determinar la estabilidad de la obra respecto al comportamiento del cauce.

Los objetivos son establecer las características hidrológicas de los regímenes de venidas máximas y extraordinarias y los factores hidráulicos Ubicación óptima del cruce. Caudal máximo de diseño hasta la ubicación del cruce. Comportamiento hidráulico del río en el tramo que comprende el cruce. Área del flujo a ser confinada por el puente.

Factores que influyen en la formación de los caudales

Son básicamente dos, factores de la lluvia y factores de la cuenca. La duración (t) es el período de análisis. Las lluvias de corta duración, conocidas también como tormentas, son eventos que por lo general tienen duraciones entre 5 minutos y 24 horas, y se utilizan para el cálculo de crecientes.

La intensidad (i) se define como el volumen de precipitación por unidad de tiempo. Se expresa en milímetros por hora (mm/h). La frecuencia (f) es una

medida de la probabilidad de ocurrencia de eventos mayores o iguales que el que se analiza. Generalmente se relaciona con el período de retorno (t_r). Por ejemplo, el aguacero que tiene una frecuencia del uno por mil tiene una probabilidad de ser igualado o excedido una vez cada mil años en promedio. Para este aguacero el período de retorno es de mil años.

La variación temporal, o patrón, está representada por el hietograma de la lluvia. La duración del aguacero se divide en n intervalos iguales, y a cada intervalo le corresponde una parte de la precipitación total. La morfometría se refiere a las características físicas de la cuenca vertiente. Las principales son el área, la longitud del cauce principal, la forma, la pendiente del cauce, y la pendiente de la ladera.

Los puentes ubicados en el cruce con un curso de agua deben ser diseñados de modo que las alteraciones u obstáculos que éstos representen ante este curso de agua sean previstos y puedan ser admitidos en el desempeño de la estructura a lo largo de su vida útil o se tomen medidas preventivas. En el caso de puentes sobre cursos de agua, la información sobre la geomorfología y las condiciones del subsuelo del cauce y alrededores son complementarias con aquella obtenida de los estudios hidrológicos.

2. PLANOS CONSTRUCTIVOS Y ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN

Los planos se dibujaran con las características establecidas en los términos de referencia. Todos los planos se graficaran con auxilio de equipo electrónico y serán de una sola pieza, sin ninguna clase de injertos. Se incluirá un cuadro con las características que establezca la secretaria, con espacios para la firma de los servidores públicos responsables, con el nombre del puente o estructura, el titulo del plano, la fecha de ejecución del proyecto, datos para la ubicación de la obra y el numero asignado al proyecto por la secretaria. En el caso de proyectos ejecutados por contrato, se debe incluir otro cuadro que contenga el nombre del contratista de servicios, se incluirá un tercer cuadro con su nombre y la firma del responsable técnico de la revisión.

Cuando el proyecto sea objeto de modificaciones, se realiza otro juego de planos donde contenga las modificaciones, la fecha en que fue realizada y una breve descripción técnica de la modificación respectiva. Los planos se dibujaran con líneas de color negro, con diferentes espesores para distinguir, entre otros, las líneas que delimitan el contorno de la estructura, las que indican el refuerzo de varillas y las que señalan a las cotas.

Los dibujos contenidos en los planos se elaboraran a escalas adecuadas para su correcta interpretación y facilidad de lectura. Se utilizara escalas comunes y se evitaran las poco usuales. Las varillas de refuerzo en estructuras de concreto se identificaran con letras e índices numéricos y se incluirá una tabla con el despiece de varillas de refuerzo, indicando para cada tipo de varilla su forma, dimensiones, diámetro y numero así como su masa nominal.

A esta tabla se acompañara un cuadro que contenga los detalles de Refuerzo, es decir, las longitudes de traslape, los diámetros y ángulos de los ganchos y las longitudes de anclaje para cada diámetro de varilla colocada conforme las especificaciones. En caso de que para varillas de gran diámetro se proscriban juntas traslapadas, se incluirán detalles de juntas soldadas a tope o de juntas mediante dispositivos mecánicos de acoplamiento.

En las estructuras de concreto reforzado que incluyan nudos a los que confluyan varios elementos estructurales, se incluirán plantas, alzados y cortes a escalas pequeñas que muestren con suficiente claridad los refuerzos de los elementos concurrentes y se indiquen las posiciones de las varillas que podrían dar conflicto. En el caso de estructuras metálicas, se incluirán detalles de las conexiones, a una escala en que se muestren con claridad las dimensiones de los elementos de sujeción y sus separaciones o el tipo de soldadura y sus dimensiones, en estructuras soldadas se incluirán un cuadro con la simbología de la soldadura.

El número de planos y el contenido de cada uno de ellos se fijan por consenso entre el proyectista y el coordinador del proyecto, teniendo en cuenta que:

- Los planos tengan las mismas dimensiones, correspondientes a las del tamaño estándar fijado.
- La información contenida en cada plano se determine de manera de facilitar su uso práctico en el sitio de la obra.
- La información sea lo suficientemente clara y legible, aun en planos reducidos.

Plano general

El plano general contendrá toda la información relevante sobre el proyecto que se estime de utilidad para decisiones ejecutivas. Entre esta información se incluirá los siguiente

- Planta de la estructura
- Corte-elevación por el eje del trazo, incluyendo perfil estratigráfico, ubicación de sondeos realizados y escalas graficas vertical y horizontal.
- Corte transversal de la estructura
- Croquis de la rasante (la horizontal 10 veces más grande que la vertical)
- Datos para la ubicación de las referencia del trazo
- Datos hidráulicos del proyecto(gastos, niveles de agua, tiempos de retorno)
- Descripción de carga móvil de diseño
- Lista de materiales
- Relación de especificaciones de construcción aplicables al proyecto.

Planos de cimentación

Se elaborará un plano para cada uno de los tipos de cimentación empleados en la estructura, pudiéndose recurrir a tablas para indicar las características particulares de la cimentación en cada uno de los apoyos del puente. El plano contendrá una planta referenciando los diferentes elementos de la cimentación respecto al eje de trazo y al eje de apoyo de la subestructura. Se incluirá también un corte-elevación por el eje del camino y un corte transversal en los que se detallara cuidadosamente el anclaje de la cimentación a la subestructura.

En las notas de cada plano se incluirá el procedimiento constructivo de la cimentación haciendo referencia a los equipos necesarios, los sistemas de control y monitoreo y a los cuidados especiales para el manejo del agua en las excavaciones. Cada plano contendrá el perfil estratigráfico con los datos geotécnicos relevantes para la construcción.

Planos de subestructura

Se elaborarán planos para cada uno de los elementos de la subestructura del puente. En el caso de elementos de la misma forma y dimensiones similares, se puede agrupar en un solo plano los datos relativos a varios elementos, recurriendo al uso de tablas con diversas variables. El plano contendrá planta, elevación y corte transversal del elemento de subestructura. En las notas se incluirán recomendaciones para el procedimiento constructivo. Cada elemento quedara ubicado tanto en planta como en elevación con respecto al eje del trazo y al eje de la subestructura.

Se detallará cuidadosamente la posición de los dispositivos de apoyo de la superestructura sobre la subestructura, tanto en planta como en elevación, así como las características de esos dispositivos. Si las subestructuras son continuas con la superestructura, se detallarán cuidadosamente los elementos de conexión de ser necesario, se incluirán detalles a escala para mostrar como se evitan las interferencias entre el refuerzo de la superestructura y el de la subestructura.

Planos de la superestructura

Para cada tramo de superestructura de tipo y dimensiones diferentes, se elaborara un plano detallado que contenga planta, perfil y sección transversal

con las características del refuerzo en el caso de estructuras de concreto reforzado, del preesfuerzo en el caso de elementos pretensados o postensados y de los elementos metálicos soldados en el caso de estructuras de acero.

Cuando la superestructura está compuesta por una losa sobre vigas múltiples de concreto o de acero, es conveniente realizar dos planos, uno para la losa y otro para los elementos portantes.

Cada elemento de la superestructura se detallará cuidadosamente en lo que se refiere a la forma y geometría que tendrá para configurar la forma general de la superestructura tanto en planta como en elevación.

Los planos para las estructuras de concreto presforzado con cables postensados incluirán tablas de coordenadas en tres direcciones para la correcta ubicación de los cables, tablas de datos para el tensado de estos y con información sobre las pérdidas consideradas en el presfuerzo. Los detalles de la zona de anclaje y sus refuerzos pueden ser esquemáticos en los planos estructurales y serán minuciosamente detallados en los planos.

Datos geométricos

En el plano general y en los planos de detalles se incluirán los datos geométricos de todos los elementos componentes del puente o estructura a fin de lograr su adecuada colocación en la obra y obtener la configuración deseada del puente. En puentes alojados en curva horizontal, con fuerte esviajamiento o en general de forma poco usual, se elaborará un plano especial titulado Datos Geométricos el que contendrá toda la información necesaria para construir el puente con la forma adecuada.

La especificación de construcción describe detalladamente las características del producto deseado o de la técnica de construcción requerida o de los equipos y herramientas por aplicar; hace referencia a las normas en que se apoyan las acciones estipuladas, indica los procedimientos de muestreo y de prueba y fija los criterios de aceptación. La especificación de construcción incluye también los criterios relativos a medición y pago.

Por tanto, el constructor y el supervisor serán responsables de los trabajos que se tienen que realizar en campo, tomando en cuenta las especificaciones de los planos, al contrato, al planeamiento y a la ejecución de la obra.

En caso de contradicciones entre los planos y las especificaciones particulares de construcción, en todo caso, ambos documentos prevalecerán sobre las especificaciones generales.

Lo mencionado en las especificaciones particulares y omitidas en los planos, o viceversa, habrá de ser ejecutado como si estuviese expuesto en ambos documentos. En todo caso, las contradicciones y errores en los planos constructivos, deberán informarse por escrito al supervisor del proyecto.

3. CONCEPTOS BÁSICOS DE ESTRUCTURAS DE DRENAJE MAYOR PUENTES

3.1. Subestructura

La subestructura de un puente, es el conjunto de elementos estructurales, diseñados para transmitir la carga proveniente de la superestructura al terreno donde se edifica el puente.

3.1.1. Pilotes y zapatas

Pilote

Elemento constructivo estructural usado para cimentación de obras, que permite trasladar las cargas hasta un estrato del suelo, cuando este se encuentra a una profundidad tal que no hace viable, técnica o económicamente, una fundación o cimentación convencional, mediante zapatas o losas.

Los pilotes transmiten al terreno las cargas que reciben de la estructura mediante una combinación de rozamiento o fricción lateral o resistencia por fuste y resistencia a la penetración o resistencia por punta, Ambas dependen de las características del pilote y del terreno. La mayoría de las fórmulas que permiten estimar la resistencia por fricción o resistencia de fuste, y la resistencia de punta son de tipo empírico; o sea que son el resultado de un análisis estadístico del comportamiento de ciertos pilotes en determinadas condiciones del terreno.

Por lo anterior, es sumamente importante conocer el origen y las condiciones bajo las cuales determinadas fórmulas de cálculo son válidas. Los pilotes pueden ser elementos estructurales prefabricados de madera, concreto reforzado, concreto pretensado y acero, que se hincan en el terreno mediante una máquina llamada pilotera o pilotadora, que tiene un martinete que los golpea hasta que se llega a la profundidad que se requiere.

Pilotes colados “IN SITU”

Este término se aplica cuando el método constructivo del pilote consiste en realizar una perforación en el suelo, hasta la profundidad requerida, a la cual se le colocará un armado o refuerzo en su interior, y posteriormente se rellenará dicha perforación con concreto.

Pilotes hincados

Consiste en introducir en el suelo, elementos estructurales prefabricados de concreto (reforzado o pretensado), o de acero, por medio de piloteadoras. Estos elementos son similares a postes de luz, y son introducidos en el suelo por medio de golpes de martinete.

Estos golpes hacen que el pilote (elemento estructural prefabricado) descienda, penetrando el terreno, hasta que se alcanza la profundidad del estrato resistente y se produzca el rechazo del suelo, en caso de ser un pilote que trabaje por punta, o de llegar a la profundidad requerida por el diseño, en caso de ser un pilote que trabaje por fricción.

Figura 1. **Excavación para pilote**



Fuente: Los Encuentros, Nahualá.

Zapatas

Son aquellas que se apoyan en las capas superficiales o poco profundas del suelo, por tener éste suficiente capacidad portante o por tratarse de construcciones de importancia secundaria y relativamente livianas.

En estructuras importantes, tales como puentes, las cimentaciones, incluso las superficiales, se apoyan a suficiente profundidad como para garantizar que no se produzcan deterioros.

Las cimentaciones superficiales se clasifican en:

- Cimentaciones ciclópeas
- Zapatas aisladas
- Zapatas corridas
- Zapatas combinadas
- Losas de cimentación

Un caso que se puede considerar intermedio entre las zapatas y las losas es el de la cimentación por medio de un emparrillado, que consiste en una serie de zapatas corridas, entrecruzadas en dos direcciones.

Cimentaciones ciclópeas

En terrenos cohesivos donde la zanja pueda hacerse con paredes verticales y sin desprendimientos de tierra, el cimiento de concreto ciclópeo (hormigón) es sencillo y económico.

El procedimiento para su construcción consiste en ir vaciando dentro de la zanja piedras de diferentes tamaños al tiempo que se vierte la mezcla de concreto en proporción 1, 3,5, procurando mezclar perfectamente el concreto con las piedras, de tal forma que se evite la continuidad en sus juntas. Este es un sistema que ha quedado prácticamente en desuso, se usaba en construcciones con cargas poco importantes.

Zapatas aisladas

Las zapatas aisladas son un tipo de cimentación superficial que sirve de base de elementos estructurales puntuales como son los pilares; de modo que esta zapata amplía la superficie de apoyo hasta lograr que el suelo soporte sin problemas la carga que le transmite.

El término zapata aislada se debe a que se usa para asentar un único pilar, de ahí el nombre de aislada. Es el tipo de zapata más simple, aunque cuando el momento flector en la base del pilar es excesivo no son adecuadas y en su lugar deben emplearse zapatas combinadas o zapatas corridas en las que se asienten más de un pilar.

Zapatas corridas

Las zapatas corridas se emplean para cimentar muros portantes, o hileras de pilares. Estructuralmente funcionan como viga flotante que recibe cargas lineales o puntuales separadas. Son cimentaciones de gran longitud en comparación con su sección transversal. Las zapatas corridas están indicadas como cimentación de un elemento estructural longitudinalmente continuo, como un muro, en el que pretendemos los asientos en el terreno.

Otro caso en el que resultan útiles es cuando se requerirían muchas zapatas aisladas próximas, resultando más sencillo realizar una zapata corrida. Se aplican normalmente a muros. Pueden tener sección rectangular, escalonada o estrechada cónicamente. Sus dimensiones están en relación con la carga que han de soportar, la resistencia a la compresión del material y la presión admisible sobre el terreno.

Zapatas combinadas

Una zapata combinada es un elemento que sirve de cimentación para dos o más pilares. En principio las zapatas aisladas sacan provecho de que diferentes pilares tienen diferentes momentos flectores. Si estos se combinan en un único elemento de cimentación, el resultado puede ser un elemento más estabilizado y sometido a un menor momento resultante.

La elevación a la que se desplanta una zapata, depende del carácter del subsuelo, de la carga que debe soportar, y del costo del cemento. Ordinariamente, la zapata se desplanta a la altura máxima en que pueda encontrarse en material que tenga la capacidad de carga adecuada.

Losas de cimentación

Una losa de cimentación es una zapata combinada que cubre toda el área que queda debajo de una estructura y que soporta todos los muros y columnas. Cuando las cargas del edificio son tan pesadas o la presión admisible en el suelo es tan pequeña que las zapatas individuales van a cubrir más de la mitad del área del edificio, es probable que la losa corrida sea más económica que las zapatas.

Las losas de cimentación se proyectan como losas de concreto planas y sin nervaduras. Las cargas que obran hacia abajo sobre la losa son las de las columnas individuales o las de los muros. Si no hay una distribución uniforme de las cargas de las columnas o bien el suelo es tal que pueden producirse grandes asentamientos diferenciales, las losas deben reforzarse para evitar deformaciones excesivas.

3.1.2. Contrafuertes

Se entiende por una pila de un puente aquella parte de la subestructura que recibe la acción de dos tramos de la superestructura y tiene como función el transmitir las cargas al terreno y repartirlas en tal forma que no exceden al esfuerzo admisible del terreno.

3.1.3. Viga cabezal

Viga cabezal o de apoyo, elementos estructural que reciben directamente la carga de la superestructura y la transmiten a los estribos, estos a la vez se encargan de transmitirlos al suelo y que además contienen el relleno estructural

o terraplén de la carretera. Para el diseño de la viga de apoyo se chequea únicamente por aplastamiento.

3.1.4. Cortina

Los estribos de entrada y salida que se utilizarán para el diseño del puente son del tipo muro en voladizo fundido en sitio. Cada estribo estará constituido por un muro frontal y dos aleros.

El muro frontal soportará la carga del sistema de superestructura independientemente de los aleros, los cuáles servirán, únicamente, como muros de contención de las tierras para que el material de relleno del terraplén no se derrame hacia el cauce del río. El espesor de la cortina, no deberá ser menor a 30cm y deberá tener el mismo alto de las vigas principales más el espesor del Neopreno.

Figura 2. Compactación estribo de salida



Fuente: Los Encuentros, Nahualá.

3.1.5. Bloques sísmicos

Estos bloques ayudan a que la superestructura tenga mayor rigidez contra los desplazamientos longitudinales respecto a la línea de la carretera y desplazamientos transversales que puedan surgir durante un sismo.

Otros puentes llevan las denominadas barras antisísmicas, que son elementos que amarran el tablero a la infraestructura y que se instalan por los costados o entre las vigas. El diseño más antiguo consistía de dos barras de acero liso cruzadas, formando un ángulo de 50 grados, a veces colocadas en el interior de algún conducto y otras sin protección alguna, con sus extremos empotrados en la mesa de apoyo del estribo o cepa por un cabo y en la losa por el otro.

Recientemente el diseño se modificó, ahora se colocan en forma vertical, dentro de conductos plásticos o de acero galvanizado que les permiten un cierto juego, empotradas en un extremo y apernadas en el otro. Las barras antisísmicas cumplen un papel fundamental al evitar que los movimientos originados por un sismo desmonten el tablero. En consecuencia, cualquier defecto exige una reparación inmediata

Figura 3. **Construcción de bloques sísmicos**

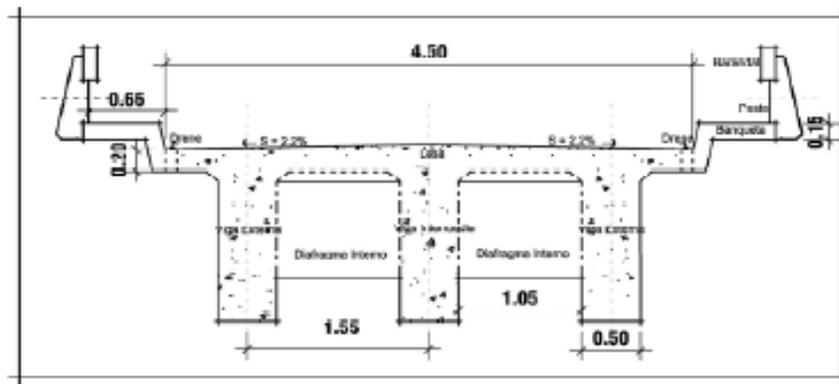


Fuente: Los Encuentros, Nahualá.

3.2. Superestructura

La superestructura está compuesta de elementos como: vigas, diafragmas, losas, barandas y banquetas. Sobre la superestructura se realiza la circulación de los vehículos y de los peatones. Usualmente se le llama tablero del puente.

Figura 4. **Sección transversal de la superestructura**



Fuente: elaboración propia.

3.2.1. Vigas longitudinales

Las vigas son los elementos estructurales más importantes de la superestructura, ya que estas transmiten cargas externas transversales, tanto carga muerta como carga viva, que provocan momentos flexionantes y fuerzas cortantes en su longitud. Además, las vigas son las que soportan toda la carga de la superestructura y le dan la estabilidad a ésta. Las vigas de concreto para superestructuras de puentes pueden ser vigas reforzadas (para luces cortas), y vigas preesforzadas (para luces relativamente largas). Según el ancho de rodadura que tenga un puente, así es la cantidad de vigas que se diseñan.

3.2.2. Diafragmas

Los diafragmas son elementos estructurales conectados a las vigas principales diseñados para soportar las deformaciones laterales y transversales de las vigas de la superestructura dándoles mayor rigidez y solidez. Con esto se logra eliminar el alabeo y el pandeo lateral de las vigas.

Figura 5. **Diafragmas internos y externos**



Fuente: Los Encuentros, Nahualá.

Los dos tipos de diafragmas: los externos que se encuentran ubicados en los extremos de la viga y los internos que se encuentran en la parte media de la estructura. Los externos transmiten su peso directamente a los apoyos, y los internos transmiten su carga proporcionalmente a las vigas como cargas puntuales. Cuando la longitud libre excede los 10 metros, es recomendable emplear diafragmas internos.

3.2.3. Losa

La losa de concreto armado que se coloca sobre los elementos presforzados para formar la sección compuesta tiene un espesor de 15 a 20 cm dependiendo del elemento estructural sobre el que descansa. Esta losa, además de aumentar la capacidad de la sección, cumple la función de rigidizar a la superestructura tanto en el sentido vertical, para repartir las cargas vivas uniformemente a todas las trabes, como en el horizontal, para evitar movimientos relativos entre las vigas y hacer las funciones de un diafragma rígido. El espesor de la losa deberá incrementarse por concepto de desgaste si ésta será, además, la superficie de rodamiento.

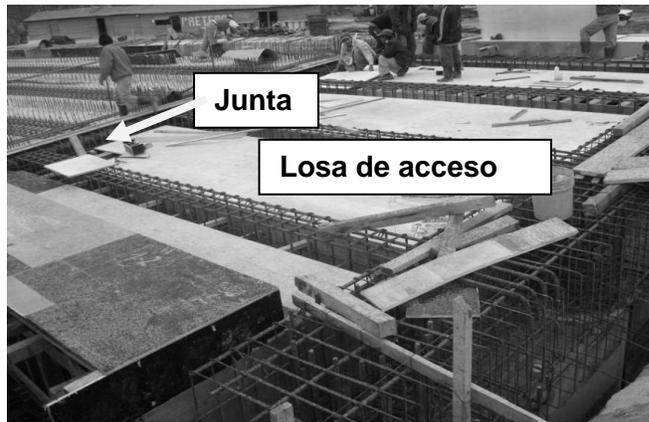
La losa debe estar perfectamente ligada a las trabes, por lo que éstas estarán provistas de conectores y contarán con una superficie de contacto limpia, húmeda y rugosa.

3.2.4. Losa de acceso

Son importantes por su conexión al puente y deben estar a nivel con el tablero. Si la transición no es suave, los efectos del impacto pueden aumentar la energía de las cargas que ingresan al puente, causando daño estructural. El pavimento de los accesos debe observarse para detectar la presencia de baches, asentamientos o excesiva rugosidad.

La junta entre las losas de aproximación y los estribos, diseñada para el movimiento causado por las variaciones de temperatura, debe ser examinada para comprobar su debida abertura y sello apropiado.

Figura 6. **Construcción de losa de acceso**



Fuente: Los Encuentros, Nahualá.

3.2.5. Pasamanos y banqueta

Deberán instalarse banquetas y pasamanos en ambos lados de la estructura del puente para protección tanto del tránsito como de los peatones. La banqueta, pasamanos y los postes se proyectan para resistir una carga mínima y la función es la de resistir una fuerza lateral.

La importancia de realizar un chequeo de las dimensiones con equipo adecuado ayuda a garantizar la calidad de los trabajos que se efectúan en campo cuando se trata de elementos que tienen cierta funcionalidad en los puentes, el control del ancho de banqueta y espesor es importante para la estructura, en los planos nos indican las dimensiones del elemento, del acero y las cantidades a utilizar de acero. El control de la resistencia del concreto es importante y los ensayos que sean necesarios en la construcción de estos elementos estructurales.

Los barandales de los puentes se clasifican según su uso. Se pueden construir de acero, concreto o mixtos. Verificar que el acero de las obras de concreto que se vaciarán contra superficies de suelo o piedra picada, se encuentre separado de éstas por medio de separadores de concreto o similares, de la dimensión apropiada para obtener el recubrimiento establecido en los planos y/o especificaciones técnicas.

- Los moldes sean contruidos de manera que las medidas finales de los elementos de concreto (medidas internas de encofrado), tengan las dimensiones mostradas en los planos y conforme a las tolerancias establecidas por las Normas.
- Verificar que los moldes sean fabricados con materiales adecuados, las juntas se sellen adecuadamente para evitar fugas de mortero y que resistan las cargas de vaciado.
- El material usado anteriormente para la fabricación de encofrados, haya sido adecuadamente preparado para su reutilización y esté libre de deformaciones, escamas de concreto, agrietamientos y de cualquier material que pueda afectar la calidad del concreto y su acabado.
- Los encofrados se construyan a plomo y a escuadra.
- El encofrado se encuentra adecuadamente firme, por medio de soportes provisionales, puntales y arriostramientos necesarios para soportar los esfuerzos de trabajo, el peso del personal y el equipo durante los procesos de vaciado, sin presentar deformaciones que afecten la dimensión final de los miembros de concreto o su alineamiento o verticalidad. Personalmente comprobar que los puntales no se muevan.

- Los elementos que quedarán embutidos en el concreto, tales como: pernos de anclaje, pasa tubos, ductos eléctricos y cajas no se desplacen ni deformen durante el proceso de colocación del molde y el vaciado y que los moldes tengan las aberturas apropiadas para acomodarlos.
- Las juntas de expansión, construcción y contracción se hayan colocado de acuerdo a los requerimientos.

3.2.6. Colocación de accesorios a la estructura

Los anclajes activos o móviles son los que van situados en el extremo de los cables y desde el cual se aplica la fuerza de tensado.

Acopladores Fijos se utilizan para la unión postensada de elementos de concreto presforzado (anclajes de continuidad).

Los conductos para los refuerzos pretensados deberán ubicarse correctamente en los lugares indicados en los planos aprobados por el Ingeniero. Serán metálicos y herméticos contra la pérdida de mortero, con la excepción de que el ingeniero, a su opción puede formarlos por medio de núcleos o conductos compuestos de caucho u otro material adecuado que pueda ser removido antes de instalar el refuerzo para el pretensado o postensado.

Los conductos deberán ser suficientemente resistentes para mantener sus formas bajo la aplicación de las fuerzas a que serán sometidos. La colocación de tuberías para el drenaje del tablero para evitar la acumulación de agua estará a una distancia de 2 metros como máximo.

Neopreno

Las placas de hule para apoyos de puentes tienen tres ventajas importantes, son económicos, efectivos y no requieren de mantenimiento mayor.

- a) **Economía:** debido a la sencillez del proyecto, facilidad de fabricación y bajo costo de los materiales. Los apoyos de Neopreno no tienen partes móviles, constan simplemente de una placa o más de Neopreno de 2.5 cm aproximadamente de espesor colocada entre la trabe y la corona de la pila o estribo.
- b) **Efectividad:** una ventaja muy importante del apoyo de Neopreno es su efectividad como medio para la transferencia de la carga. Cuando soporta cargas de compresión la placa de hule, absorbe las irregularidades de la superficie y de esa manera las imperfecciones salientes como las hundidas que tiene la superficie de concreto todas soportan la carga. No hay manera de que el apoyo sea inutilizado por la corrosión y que se transmita así un empuje excesivo a la pila o estribo sobre los que apoya la trabe.
- c) **Mantenimiento:** la tercera ventaja importante de un apoyo de Neopreno es que necesita menos conservación que cualquier otro elemento del puente. El Neopreno actualmente se usa para apoyos de puentes por dos razones importantes: tiene las propiedades físicas que se requieren y es altamente resistente al deterioro debido al intemperismo.

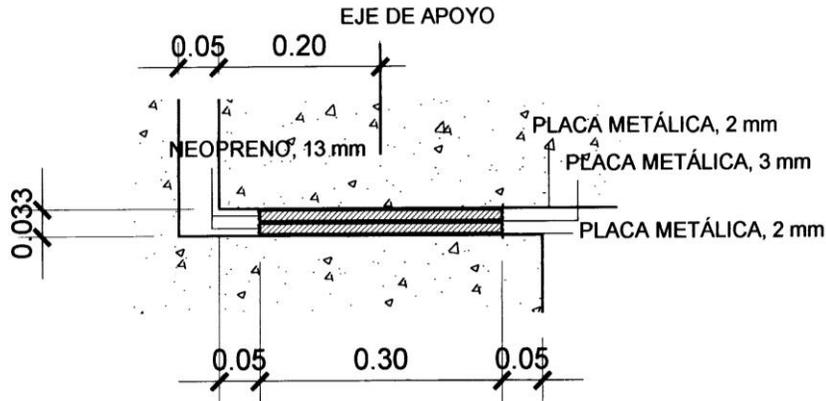
Características representativas del Neopreno:

- a) Resistencia: la resistencia del Neopreno a la compresión es más que suficiente para soportar cargas de puentes. Cuando el proyecto se ha hecho adecuadamente, el apoyo de Neopreno puede soportar cargas a la compresión de hasta 70 Kg/cm². Además la mayor parte de la deformación plástica tiene lugar en los primeros diez días de carga.

- b) Durabilidad: en su resistencia al deterioro en Neopreno es marcadamente superior al hule natural y a cualquier otro hule sintético y que pudiera satisfacer los requisitos físicos de las placas de apoyo para puente. La vida útil de un Neopreno es de aproximadamente 40 años. Sin darle ningún tipo de mantenimiento hasta 35 años.

Cuando un apoyo de Neopreno se somete a la acción de una carga se deforma verticalmente. La deformación vertical no debe exceder del 15% del espesor antes de ser comprimido el apoyo. Cuando la deformación en compresión es mayor que 15% se producen esfuerzos internos dentro del Neopreno que aceleran la rapidez de la deformación plástica y aceleran la rapidez del agrietamiento debido a intemperismo.

Figura 7. **Detalle de apoyos de Neopreno**



LA UNION ENTRE LAS PLANCHAS DE NEOPRENO Y LAS PLACAS METÁLICAS DEBERÁ HACERSE CON UN PEGAMENTO QUE EVITE SU SEPARACIÓN
DIMENSIONES: 30 x 50 x 1.3 cms., DUREZA 60

LOS APOYOS DE NEOPRENO DEBEN COLOCARSE EN UNA SOLA ENVOLTURA CONTENIENDO TANTO LAS PLACAS DE NEOPRENO COMO LAS PLACAS METÁLICAS QUE LAS SEPARAN, EL ESPESOR TOTAL ES DE 3.3 cm.

Fuente: elaboración propia.

3.2.7. **Formaleta y obra falsa**

Los requisitos específicos para planos de obra provisional, el constructor está obligado a presentar, al supervisor planos de obra falsa y construcción temporal tales como, apuntalamiento, formaletas y obra falsa que el contratista se proponga utilizar.

La estructura provisional propuesta debe ser calculada y refrendada por un Ingeniero y de ser necesario, dependiendo de la complejidad de la misma, por un ingeniero estructural. Si se produjera falla en la obra falsa o en la formaleta u otras estructuras temporales, el constructor bajo su responsabilidad

y a su costa, debe corregir la estructura dañada. Al terminar el trabajo de que se trate, el contratista debe a su costa, desmontar y retirar la obra falsa, de tal manera que no ocasione ningún daño a la estructura terminada.

A los encofrados de madera se les exige como cualidades principales las de ser rígidos, resistentes y limpios. Los encofrados de madera deben ser pintados con aceite sucio o algún aditivo sobre la superficie interior antes de la colocación del hormigón, para impermeabilizar la madera y evitar que se adhiera con el hormigón. Se debe colocar chanfles en las esquinas del encofrado, para evitar desmochaduras o agrietamientos de los distintos elementos al momento del desencofrado

La remoción de encofrados de soportes se debe hacer cuidadosamente y en forma tal que permita concreto tomar gradual y uniformemente los esfuerzos debidos a su propio peso. Dada que las operaciones de campo son controladas por ensayos de resistencias de cilindros de concreto, la remoción de encofrados y demás soportes se podrán efectuar al lograrse las resistencias fijadas en el diseño. Los cilindros de ensayos deberán ser curados bajo condiciones iguales a las más desfavorables de la estructura que representan.

Excepcionalmente si las operaciones de campo no están controladas por pruebas de laboratorio, los siguientes datos pueden ser empleado como guía para el tiempo mínimo requerido antes de la remoción de encofrados y soportes:

Estructuras para arcos	14 días
Estructuras bajo vigas	14 días
Soportes bajo losas planas	14 días
Losas de piso	14 días

Placa superior en alcantarillas de cajón	14 días
Superficies de muros verticales	48 horas
Columnas	48 horas
Lados de vigas	24 horas

Si las operaciones de campo son controladas por ensayos de resistencia de cilindros de concreto, la remoción de encofrados y demás soportes se podrá efectuar al lograrse las resistencias fijadas en el diseño. Los cilindros de ensayo deberán ser curados bajo condiciones iguales a las más desfavorables de la estructura que representan. La remoción de encofrados y soportes se debe hacer cuidadosamente y en forma tal, que permita al concreto tomar gradual y uniformemente los esfuerzos debidos a su peso propio.

Figura 8. Construcción de obra falsa puente Stan I



Fuente: elaboración propia.

4. ELEMENTOS DEL SISTEMA DE CONTROL DE CALIDAD

4.1. Acero estructural

Podemos decir que los últimos cien años, se han caracterizado por la masiva utilización del acero. El motivo principal está centrado en la enormidad de usos que se le puede dar, y la versatilidad de sus propiedades mecánicas. Otra ventaja, es que algunas de estas propiedades pueden ser modificadas para ajustarse al destino final que se le quiera dar al producto.

Dentro de las propiedades podemos mencionar las siguientes:

- Ductilidad
- Resistencia
- Tenacidad
- Dureza
- Maleabilidad

La primera de ellas, la ductilidad, se refiere a la capacidad del acero para deformarse, al soportar esfuerzos de tracción sin llegar a la rotura. La dureza se define como la propiedad del acero a oponerse a la penetración de otro material.

Analizando el caso de la resistencia, específicamente el de la resistencia a la tracción, tendremos que ésta es la fuerza máxima por unidad de área, que puede soportar el acero al ser estirado. La maleabilidad es la capacidad que presenta el acero de soportar la deformación, sin romperse, al ser sometido a un esfuerzo de compresión. Finalmente, la tenacidad viene siendo la conjugación de dos propiedades: ductilidad y resistencia. Un material tenaz será aquel que posee una buena ductilidad y una buena resistencia al mismo tiempo.

La forma en que se determinan con qué propiedades cuenta un material, es mediante la realización de diferentes pruebas o ensayos. En base a ellos es posible determinar qué material es el que emplearemos, por ejemplo, en levantar determinada estructura o edificio. Cuando se proyecta una estructura de concreto armado se establecen las dimensiones de los elementos, el tipo de concreto, los aditivos, y el acero que hay que colocar en función de los esfuerzos que deberá soportar y de las condiciones ambientales a que estará expuesto.

Las varillas para el refuerzo de estructuras de concreto reforzado, se fabrican en forma tal de cumplir con los requisitos de las siguientes especificaciones ASTM: A-615 "varillas de acero de lingotes corrugadas y lisas para concreto reforzado", A-616 "varillas de acero de riel relaminado corrugadas y lisas para refuerzo de concreto", o la A-617 "varillas de acero de eje corrugado y lisas para concreto reforzado".

Las varillas se pueden conseguir en diámetros nominales que van desde 3/8 de pulg., hasta 1 3/8 de pulg., con incrementos de 1/8 de pulg., y también en dos tamaños más grandes de más a menos 1 3/4 y 2 1/4 de pulg.

Es importante que entre el acero de refuerzo exista adherencia suficientemente resistente entre los dos materiales. Esta adherencia proviene de la rugosidad natural de las corrugaciones poco espaciadas en la superficie de las varillas.

Las varillas se pueden conseguir en diferentes resistencias. Los grados 40, 50 y 60 tienen resistencias mínimas especificadas para la fluencia de 276, 345 y 414 N/mm² respectivamente. La tendencia actual es hacia el uso de varillas del grado. 60.

Dentro de los ensayos a que se someten los aceros, se destacarán los más utilizados:

- Ensayo de tracción
- Ensayo de dureza
- Ensayo de impacto
- Ensayo de doblado

Ensayo de tracción

Debido a la gran cantidad de información que puede obtenerse a partir de este ensayo, es sin duda alguna, uno de los test mecánicos más empleados para el acero. La versatilidad del ensayo de tracción radica en el hecho de que permite medir al mismo tiempo, tanto la ductilidad, como la resistencia. El valor de resistencia es directamente utilizado en todo lo que se refiere al diseño. Los datos relativos a la ductilidad, proveen una buena medida de los límites hasta los cuales se puede llegar a deformar el acero en cuestión, sin llegar a la rotura del mismo. Este ensayo consiste en someter una muestra, denominada probeta, de sección uniforme y conocida, a una fuerza de tracción que va aumentando progresivamente. En forma simultánea se van midiendo los correspondientes alargamientos de la probeta.

Ensayo de dureza

El ensayo de dureza mide la resistencia de un material a la penetración de un punzón o una cuchilla. Este penetrador es también llamado durómetro. El durómetro usualmente consta de una bolita, pirámide o un cono de un material mucho más duro que el acero que se está midiendo. La profundidad hasta la cual penetra este material nos entrega un valor, el que está tabulando,

obteniéndose así una medida de la dureza del acero. Su uso está ampliamente extendido, especialmente dentro de las áreas de conformado y de tratamiento térmico de los aceros.

Una utilización práctica, es la de dar una buena correlación entre las medidas que entrega y otras propiedades que pueden medirse directamente, como la penetración del temple de un acero. Dado que el ensayo de dureza puede hacerse fácilmente, la información obtenida puede ser evaluada inmediatamente. Por estas razones y por su carácter no destructivo se le usa ampliamente para control de calidad en producción.

Los ensayos de dureza más utilizados en el campo ingenieril, son el Rockwell y el Brinell.

Dureza Brinell: en él, una esfera de 10 mm de diámetro, usualmente de un acero endurecido, se presiona contra la superficie del material bajo una carga estática de 3,000 kg. El tamaño de la huella nos entrega una medida de la dureza bajo las condiciones del ensayo.

Dureza Rockwell: a diferencia del anterior, en el test de Rockwell se aplica primero una carga pequeña (de menos de 10 kg), lo que hace que el indentador penetre hasta una cierta profundidad. Luego se aplica la carga mayor predeterminada. La diferencia en la penetración nos entrega una medida de la dureza del acero.

Ensayo de impacto

Utilizado para medir la tenacidad del acero. En esta prueba, una probeta especial del acero en cuestión, es sometida a un fuerte impacto instantáneo,

producto del cual ésta se rompe muy rápidamente. Este hecho entrega una medida de la energía que se debe aplicar para su fractura, lo que se traduce en un índice de su tenacidad.

Si bien los resultados de los ensayos de impacto no se utilizan directamente para el diseño, son muy útiles como herramienta de la producción, ya que permiten la comparación de un acero con otro que ha dado resultados satisfactorios.

Ensayo de doblado

Este ensayo sirve para obtener una idea aproximada sobre el comportamiento del acero a la flexión o esfuerzo de doblado. Se comienza el ensayo, colocando la pieza sobre dos apoyos, cuya separación está normalizada. Se aplica luego, una fuerza controlada y que aumenta paulatinamente hasta que la probeta se dobla completamente o comienzan a aparecer las primeras grietas.

Ventajas del acero como material estructural:

La alta resistencia del acero por unidad de peso implica que será poco el peso de las estructuras, esto es de gran importancia en puentes de grandes claros.

Otras ventajas importantes del acero estructural son:

- Gran facilidad para unir diversos miembros por medio de varios tipos de conectores como son la soldadura, los tornillos y los remaches.
- Posibilidad de prefabricar los miembros de una estructura.

- Rapidez de montaje.
- Capacidad de laminarse y en cantidad significativas de tamaños y formas.
- Resistencia a la fatiga.
- Posible rehusó después de desmontar una estructura.
- Posibilidad de venderlo como "chatarra".

Desventajas del acero como material estructural

Costo de mantenimiento. La mayor parte de los aceros son susceptibles a la corrosión al estar expuestos al agua y al aire y, por consiguiente, deben pintarse periódicamente. Costo de la protección contra el fuego. Aunque algunos miembros estructurales son incombustibles, sus resistencias se reducen considerablemente durante los incendios.

Susceptibilidad al pandeo. Entre más largos y esbeltos sean los miembros a compresión, mayor es el peligro de pandeo. Como se indico previamente, el acero tiene una alta resistencia por unidad de peso, pero al utilizarse como columnas no resulta muy económico ya que debe usarse bastante material, solo para hacer más rígidas las columnas contra el posible pandeo.

El acero estructural puede laminarse en forma económica en una gran variedad de formas y tamaños sin cambios apreciables en sus propiedades físicas. Generalmente los miembros estructurales más convenientes son aquellos con grandes momentos de inercia en relación con sus áreas. Los perfiles I, T y X tienen esta propiedad.

Las varillas de refuerzo se doblarán lentamente, en frío, para darles la forma que fije el proyecto o apruebe la Supervisión según lo que indique los planos, cualquiera que sea su diámetro; sólo se podrán doblar en caliente

cuando así lo indique el proyecto o apruebe la Supervisión. Cuando se trate de varilla torcida en frío no se permitirá su calentamiento.

Cuando el proyecto establezca o la supervisión apruebe, que la varilla se caliente para facilitar su doblado, la temperatura no excederá de doscientos (200) grados Celsius, la cual se determinará por medio de lápices del tipo de fusión. La fuente de fusión no se aplicará directamente a la varilla y el enfriamiento deberá ser lento.

Acero de presfuerzo

Existen tres formas comunes en las cuales se emplea el acero como tendones en concreto presforzado: alambres redondos estirados en frío, torón y varillas de acero de aleación.

Los alambres individuales se fabrican laminando en caliente lingotes de acero hasta obtener varillas redondas. Después del enfriamiento, las varillas se pasan a través de troqueles para reducir su diámetro hasta su tamaño requerido. En el proceso de esta operación de estirado, se ejecuta trabajo en frío sobre el acero, lo cual modifica notablemente sus propiedades mecánicas e incrementa su resistencia.

A los alambres se les libera de esfuerzo después de estirado en frío mediante un tratamiento continuo de calentamiento hasta obtener las propiedades mecánicas prescritas. Los alambres se consiguen en cuatro diámetros tal como se muestra en la tabla 1 y en dos tipos.

Tabla I. **Propiedades de alambres sin revestimiento**

Diámetro nominal		Mínima resistencia de Tensión				Mínimo esfzo. Para una elongación de 1%			
		Tipo BA		Tipo WA		Tipo BA		Tipo WA	
Pulg.	mm.	Lb/pulg ²	Kg/cm ²	Lb/pulg ²	Kg/cm ²	Lb/pulg ²	Kg/cm ²	Lb/pulg ²	Kg/cm ²
0.192	4.88	240,000	16,880	250,000	17,590	192,000	13,510	200,000	14,070
0.196	4.98	240,000	16,880	250,000	17,590	192,000	13,510	200,000	14,070
0.250	6.35	240,000	16,880	240,000	16,880	192,000	13,510	192,000	14,070
0.276	7.01	240,000	16,880	235,000	16,880	192,000	13,510	182,000	14,070

Fuente: FLORES SÁNCHEZ, Jesús. Conservación de puentes carreteros. Página 450.

Torones

El torón se usa casi siempre en miembros pretensados, y a menudo se usa también en construcción postensada. El torón es fabricado con siete alambres, 6 firmemente torcidos alrededor de un séptimo de diámetro ligeramente mayor.

Para los torones se usa el mismo tipo de alambres relevados de esfuerzo y estirados en frío que los que se usan para los alambres individuales de presfuerzo. Sin embargo, las propiedades mecánicas se evidencian ligeramente diferentes debido a la tendencia de los alambres torcidos a enderezarse cuando se les sujeta a tensión, debido a que el eje de los alambres no coincide con la dirección de la tensión. Al torón se le releva de esfuerzos mediante tratamiento térmico después del trenzado. Los torones de bajo relajamiento se pueden conseguir mediante pedido especial. Los torones pueden obtenerse entre un rango de tamaños que va desde 0,25 pulgadas hasta 0,6 pulgadas de diámetro.

Tabla II. **Propiedades del torón de 7 alambres sin revestimiento**

Diámetro Nominal		Resistencia a la ruptura		Área Nominal del Torón		Carga mínima para una elongación de 1%	
pulg	mm	Lb	kN	pulg ²	mm ²	Lb	kN
<u>GRADO 250</u>							
0.250	6.35	9,000	40.0	0.036	23.22	7,650	34.0
0.313	7.94	14,500	64.5	0.058	37.42	12,300	54.7
0.375	9.53	20,000	89.0	0.080	51.61	17,000	75.6
0.438	11.11	27,000	120.1	0.108	69.68	23,000	102.3
0.500	12.70	36,000	160.1	0.144	92.90	30,600	136.2
0.600	15.24	54,000	240.2	0.216	139.35	45,900	204.2
<u>GRADO 270</u>							
0.375	9.53	23,000	102.3	0.085	54.84	19,550	87.0
0.438	11.11	31,000	137.9	0.115	74.19	26,550	117.2
0.500	12.7	41,300	183.7	0.153	98.71	35,100	156.1
0.600	15.24	58,600	260.7	0.217	140.00	49,800	221.5

Fuente: FLORES SÁNCHEZ, Jesús. Conservación de puentes carreteros.

4.2. Ensayos del agregado

Los materiales necesarios para la ejecución de las obras serán suministrados por el Constructor; por lo tanto, será de su responsabilidad la selección de las fuentes por utilizar, teniendo en cuenta que los materiales deberán cumplir con todos los requisitos de calidad exigidos en las especificaciones generales de construcción y las recomendaciones y requerimientos establecidos en los estudios técnicos del proyecto. El constructor deberá conseguir oportunamente todos los materiales y suministros

que se requieran para la construcción de las obras y mantener permanentemente una cantidad suficiente de ellos para no retrasar el progreso de los trabajos.

Todos los materiales están sujetos a inspección, muestreo, pruebas, repetición de pruebas y rechazo, en cualquier momento antes de la utilización de los materiales. Los materiales suministrados y demás elementos que el Constructor emplee en la ejecución de las obras deberán ser de primera calidad y adecuados al objeto que se les destinan.

Los materiales y accesorios que el constructor emplee en la ejecución de las obras sin la aprobación del supervisor podrán ser rechazados por éste cuando no los encuentre adecuados. La aprobación del supervisor a los materiales, no exonera la responsabilidad del constructor por la calidad de la obra.

Todo trabajo rechazado por no cumplir con las especificaciones exigidas, por defecto en los materiales, en los elementos empleados, en la mano de obra o por deficiencia en los equipos de construcción, deberá ser reconstruido o reparado por cuenta del constructor y dentro del plazo que determine el supervisor mediante comunicación escrita. Además, el Constructor queda obligado a retirar del sitio respectivo los materiales o elementos defectuosos, a su costa, cuando así lo exija el Supervisor.

El supervisor no aceptará ningún reclamo de costos o plazos por parte del constructor, por falta o escasez de materiales o elementos de construcción. El constructor deberá tomar todas las disposiciones necesarias para facilitar el control por parte del supervisor. Este, a su vez, efectuará todas las medidas que estime convenientes, sin perjuicio del avance de los trabajos.

Los materiales que sean utilizados en una obra que sean fabricados comercialmente deben estar respaldados por certificados del productor en el que se indique el cumplimiento de los requisitos de calidad que se establecen en estas especificaciones. La certificación debe ser entregada para cada lote de materiales o partes entregadas en obra. El contratista también presentará certificados de calidad por organismos nacionales oficiales de control de calidad, en forma obligatoria.

4.3. Calidad de agua

Casi cualquier agua natural que sea potable y que no tenga sabor u olor pronunciado, se puede utilizar para producir concreto. Las impurezas excesivas en el agua no solo pueden afectar el tiempo de fraguado y la resistencia de el concreto, si no también pueden ser causa de eflorescencia, manchado, corrosión del esfuerzo, inestabilidad volumétrica y una menor durabilidad.

La calidad del concreto depende en gran medida de la calidad de la pasta. En un concreto elaborado adecuadamente, cada partícula de agregado está completamente cubierta con pasta y también todos los espacios entre partículas de agregado. Para cualquier conjunto específico de materiales y de condiciones de curado, la cantidad de concreto endurecido está determinada por la cantidad de agua utilizada en la relación con la cantidad de Cemento.

A continuación se presenta algunas ventajas que se obtienen al reducir el contenido de agua:

- Se incrementa la resistencia a la compresión y a la flexión.
- Se tiene menor permeabilidad, y por ende mayor hermeticidad y menor absorción.

- Se incrementa la resistencia al intemperismo.
- Se logra una mejor unión entre capas sucesivas y entre el concreto y el esfuerzo.
- Se reducen las tendencias de agrietamientos por contracción.

Entre menos agua se utilice, se tendrá una mejor calidad de concreto siempre y cuando este se pueda consolidar adecuadamente. Para su incorporación en el concreto, el agua debe presentar ciertas características de calidad, resumirse en la forma siguiente:

- El uso de agua potable está permitido sin necesidad de verificar su calidad.
- El agua de mar solo puede usarse en la preparación de hormigones de resistencia especificada inferior a 150 kg/cm².
- El agua contenida de azúcares, en forma de sacarosa o glucosa, no puede ser empleada para la preparación de hormigones.
- Las aguas de origen desconocido deben ser sometidas a análisis químico, debiendo atenerse su composición a los límites señalados en la norma respectiva.

Generalmente se investiga lo siguiente:

- Origen: no son recomendables las aguas procedentes de desagües, relaves de minas, de alta montaña, de mar, residuales de industrias de azúcar o similares, de aceite, de ácidos, álcalis o cualquier agua que tenga olor o sabor desagradables.
- Contenidos en suspensión: no son recomendables las aguas que arrastran abundante material en suspensión, como pueden ser las aguas de canales

o de pozo. Si no contienen exceso de sales disueltas, podrán emplearse si se adopta algún sistema de decantación que permita obtener agua sin turbidez.

- **Contenidos disueltos:** no son recomendables las aguas con gusto salobre o azucarado. Cuando se desconozca o se tenga dudas sobre aguas que tengan contenidos peligrosos de sales disueltas, deberá recurrirse a análisis en laboratorios especializados.

En resumen, el agua debe estar libre de sales, impurezas, sólidos en suspensión y materias orgánicas.

4.4. Propiedades del concreto

Las propiedades del concreto son sus características o cualidades básicas. Las cuatro propiedades principales del concreto son: trabajabilidad, cohesividad, resistencia y durabilidad.

Las características del concreto pueden variar en un grado considerable, mediante el control de sus ingredientes. Por tanto, para una estructura específica, resulta económico utilizar un concreto que tenga las características exactas necesarias, aunque esté débil en otras.

Trabajabilidad: la facilidad de colocar, consolidar y acabar al concreto recién mezclado. Se denomina trabajabilidad. El concreto debe ser trabajable pero no se debe segregar excesivamente. El sangrado es la migración del agua hacia la superficie superior del concreto recién mezclado provocada por el asentamiento de los materiales sólidos cemento, arena y piedra dentro de la masa. El

asentamiento es consecuencia del efecto combinado de la vibración y de la gravedad.

Un sangrado excesivo aumenta la relación Agua - Cemento cerca de la superficie superior, pudiendo dar como resultado una capa superior débil de baja durabilidad, particularmente si se lleva a cabo las operaciones de acabado mientras está presente el agua de sangrado. Debido a la tendencia del concreto recién mezclado a segregarse y sangrar, es importante transportar y colocar cada carga lo más cerca posible de su posición final. El aire incluido mejora la trabajabilidad y reduce la tendencia del concreto fresco de segregarse y sangrar.

Durabilidad: el concreto debe ser capaz de resistir la intemperie, acción de productos químicos y desgastes, a los cuales estará sometido en el servicio.

Impermeabilidad: es una importante propiedad del concreto que puede mejorarse, con frecuencia, reduciendo la cantidad de agua en la mezcla.

Resistencia. Es una propiedad del concreto que, casi siempre, es motivo de preocupación. Por lo general se determina por la resistencia final de una probeta en compresión. Como el concreto suele aumentar su resistencia en un periodo largo, la resistencia a la compresión a los 28 días es la medida más común de esta propiedad.

4.5. Clase de resistencia del concreto

Generalmente se requiere un concreto de mayor resistencia para el trabajo de presforzado que para el reforzado. La práctica actual en puentes pide una resistencia a los cilindros de 28 días de 280 a 350 Kg/cm² para el concreto presforzado, mientras que el valor correspondiente para el concreto reforzado

es de 170 Kg/cm² aproximadamente. Un factor por el que es determinante la necesidad de concretos más resistentes, es que el concreto de alta resistencia está menos expuesto a las grietas por contracción que aparecen frecuentemente en el concreto de baja resistencia antes de la aplicación de presfuerzo.

Es importante seguir todas las recomendaciones y especificaciones de cada proyecto a fin de cumplir con las solicitudes requeridas. Por lo general para obtener una resistencia de 350 Kg/cm², es necesario usar una relación de agua-cemento no mucho mayor que 0,45. Con el objeto de facilitar el colado, se necesitara un revenimiento de 5 a 10 cm. Para obtener un revenimiento de 7,5 cm con una relación agua-cemento de 0,45 se requerirían alrededor de 10 sacos de cemento por metro cubico de concreto.

Si es posible un vibrado cuidadoso, se puede emplear concreto con un revenimiento de 1,2 cm o cero, y serian suficientes poco menos de 9 sacos por metro cubico de concreto. Puesto que con una cantidad excesiva de cemento se tiende a aumentar la contracción, es deseable siempre un factor bajo de cemento. Con este fin, se recomienda un buen vibrado siempre que sea posible, y para aumentar la maniobrabilidad pueden emplearse ventajosamente aditivos apropiados.

4.6. Ensayos del concreto

La entidad atribuye la máxima importancia al control de calidad de los concretos que vayan a ser usados en la obra y por conducto del supervisor o de su representante, obligará a un minucioso examen de su ejecución y los informes escritos harán parte del diario de la obra.

Para controlar la calidad de los concretos se harán los siguientes ensayos:

- Determinación del revenimiento
- Determinación de la masa unitaria
- Temperatura

Asentamiento

Una muestra de concreto recién mezclado se coloca y compacta con una varilla metálica en un molde con forma de cono trunco. El molde se levanta y el concreto fluye. La distancia vertical entre la posición original (el tamaño del molde) y la desplazada producto del asentamiento del centro de la superficie superior del concreto es medida y registrada como el asentamiento del concreto.

Figura 9. **Asentamiento del concreto**



Fuente: Los Encuentros, Nahualá.

El ensayo del asentamiento fue el primer parámetro a considerar en las mezclas preliminares ya que este era una manera rápida para controlar que las mezclas sean homogéneas.

Peso unitario

Este ensayo determina la densidad del concreto en su estado fresco y brinda fórmulas para calcular rendimiento, contenido de cemento, y contenido de aire del concreto. El rendimiento se calcula como el volumen de concreto producido de un diseño de mezcla. Método de ensayo gravimétrico para determinar el peso por metro cúbico, rendimiento y contenido de aire del hormigón.

Figura 10. **Procedimiento para el ensayo de peso unitario**



Fuente: Los Encuentros, Nahualá.

Temperatura

Este método provee un significado para la medición de la temperatura del concreto fresco. Puede ser usado para verificar la conformidad de un requerimiento de temperatura específico de un concreto.

Figura 11. **Procedimiento para ensayo de temperatura**



Fuente: Los Encuentros, Nahualá.

El gradiente de temperatura entre la temperatura ambiente y la temperatura del concreto debe ser alrededor de 5%.

4.6.1. Registros de ensayos

Testigos de la Resistencia del Concreto. Las muestras serán ensayadas de acuerdo con el método para ensayos de cilindros de concreto a la compresión (designación C-39 de la ASTM).

La preparación y ensayo de cilindros de prueba que testifiquen la calidad de los concretos usados en la obra será obligatoria, corriendo ella de cuenta del contratista pero bajo la supervigilancia de la supervisora. Cada ensayo debe constar de la rotura de por lo menos cuatro cuerpos de prueba. La edad normal para ensayos de los cilindros de prueba será de veintiocho (28) días, pero para anticipar información que permitirá la marcha de la obra sin demoras extremas, dos de los cilindros de cada ensayo serán probados a la edad de siete (7) días, calculándose la resistencia correlativa que tendrá a los veintiocho (28) días.

En casos especiales, cuando se trate de concreto de alta resistencia y ejecución rápida, es aceptable la prueba de cilindros a las 24 horas, sin abandonar el control con pruebas a 7 y 28 días. Durante el avance de la obra, el supervisor podrá tomar las muestras o cilindros al azar que considere necesarios para controlar la calidad del concreto. El contratista proporcionará la mano de obra y los materiales necesarios y ayudará al supervisor, si es requerido, para tomar los cilindros de ensayo.

El valor de los ensayos de laboratorio ordenados por el supervisor serán por cuenta del contratista. Para efectos de confrontación se llevará un registro indicador de los sitios de la obra donde se usaron los concretos probados, la fecha de vaciado y el asentamiento. Se hará una prueba de rotura por cada diez metros cúbicos de mezcla a colocar para cada tipo de concreto.

Cuando el volumen de concreto a vaciar en un (1) día para cada tipo de concreto sea menor de diez metros cúbicos, se sacará una prueba de rotura por cada tipo de concreto o elemento estructural. Las pruebas serán tomadas separadamente de cada máquina mezcladora o tipo de concreto y sus resultados se considerarán también separadamente, o sea que en ningún caso

se deberán promediar juntos los resultados de cilindros provenientes de diferentes máquinas mezcladoras o tipo de concreto.

La resistencia promedio de todos los cilindros será igual o mayor a las resistencias especificadas, y por lo menos el 90% de todos los ensayos indicarán una resistencia igual o mayor a esa resistencia. En los casos en que la resistencia de los cilindros de ensayo para cualquier parte de la obra esté por debajo de los requerimientos anotados en las especificaciones, el supervisor, de acuerdo con dichos ensayos y dada la ubicación o urgencia de la obra, podrá ordenar o no que tal concreto sea removido, o reemplazado con otro adecuado, dicha operación será por cuenta del contratista en caso de ser imputable a él la responsabilidad.

Cuando los ensayos efectuados a los siete (7) días estén por debajo de las tolerancias admitidas, se prolongará el curado de las estructuras hasta que se cumplan tres (3) semanas después de vaciados los concretos. En este caso se procurará que el curado sea lo más perfecto posible; la decisión definitiva se tomará con los cilindros ensayados a los veintiocho (28) días, los cuales se someterán a las mismas condiciones de curado que el concreto colocado en obra.

Cuando los cilindros ensayados a los veintiocho (28) días presenten valores menores que los admitidos, se tomarán núcleos, pruebas de concreto en la obra o se practicará una prueba de carga en la estructura afectada. En el caso que sean satisfactorias estas pruebas se considerará satisfactoria la estructura. Pero si fallan estas pruebas o cuando no sea posible practicarlas se ordenará la demolición de la estructura afectada. La prueba de carga será determinada por la supervisión según el caso. Las pruebas de concreto endurecido, se tomarán de acuerdo a las especificaciones

El costo de las pruebas que se hagan de acuerdo con este numeral así como el costo de las demoliciones si ellas son necesarias, y la reconstrucción, serán de cuenta del contratista y por ningún motivo La entidad reconocerá valor alguno por estos conceptos Las muestras de concreto se toman en el momento en que se descarga el material desde la mezcladora o camión, al vehículo que lo transportará a los moldes; sin embargo cuando se desee mayor información o cuando se establezca así en las especificaciones, las muestras se pueden tomar de otros puntos de la descarga.

Las muestras no se deben obtener hasta que se haya añadido toda el agua de mezclado necesaria para obtener el asentamiento especificado. Las muestras se toman de preferencia, cortando completamente el flujo de descarga con un recipiente adecuado, o desviando este flujo de manera que se descargue en dicho recipiente. En el caso en que la descarga del concreto, sea demasiado rápida para poder cortar o desviar el flujo completamente, se descarga el concreto en un envase o unidad de transporte de suficiente capacidad para recibir la mezcla completa y de esta masa de concreto se toman las muestras.

El tiempo transcurrido entre la obtención de la primera muestra parcial y la última de las que van a constituir una muestra combinada, debe ser lo más breve posible y en ningún caso mayor de 15 minutos. El tiempo transcurrido entre la toma de la muestra y la ejecución del ensayo al que se destina, debe ser lo más breve posible, protegiéndola durante ese lapso del sol, del viento y de cualquier otra causa de evaporación y de contaminación.

Ambos ensayos, el de asentamiento y el de contenido de aire, se deben comenzar antes de 5 minutos contados desde el momento en que se completó la muestra de ensayo. El moldeo de todas y cada una de las probetas, para los

ensayos de resistencia, se debe comenzar antes de 15 minutos, contados desde el momento en que se completó la muestra de ensayo. Si transcurre más de una hora entre el momento en el cual se añade el agua al cemento y la toma de la muestra, ésta no se considera representativa del material.

4.6.2. Manejo y colocación del concreto

El concreto deberá transportarse de la mezcladora al sitio de destino tan pronto como sea posible y por métodos que eviten segregación de los materiales, pérdida de los ingredientes o pérdidas en el asentamiento de más de 5 cm (2"). El concreto endurecido no se usará.

El contratista someterá a la aprobación del supervisor, antes de iniciar los montajes de los equipos para la preparación de los concretos, el planeamiento, y características de los elementos para su transporte.

Tanto los vehículos para transporte de concreto desde la mezcladora al sitio de destino, como el método de manejo cumplirá con los requisitos aplicables de la sección C-94 de la ASTM. La utilización del equipo de transporte no provisto de elementos para mezclar el concreto sólo se permitirá cuando así lo autorice por escrito el supervisor y cuando cumpla los requisitos establecidos en las antedichas especificaciones de la ASTM.

Cuando se coloque concreto sobre tierra, ésta estará limpia y húmeda pero sin agua estancada en ella o corriendo sobre la misma. No podrá colocarse concreto sobre lodo, tierra porosa seca o llenos que no hayan sido compactados a la densidad requerida.

Las superficies de roca sobre las cuales vaya a colocarse concreto se limpiarán y conservarán libres de: aceite, agua estancada o corriente, lodo, basura, polvo o fragmentos de roca blanda o semi-adheridos a ella. No se dejará caer concreto verticalmente desde una altura mayor de 1.20 m, excepto cuando la descarga se haga dentro de moldes de altura apreciable, como las de columnas, muros, y similares, en cuyo caso la altura libre de caída puede ser hasta de 4.00 m siempre y cuando se utilice un aditivo que evite la segregación de los materiales y no se afecten las condiciones iniciales de la mezcla.

En las columnas, para evitar los huecos debidos a escurrimiento del concreto fresco, se regulará la velocidad del vaciado de modo que se llene máximo 1.00 m de altura del molde en media hora. No se permitirá el uso de canales o rampas sino para una distribución local de concreto en el encofrado y ello requiere la aprobación del supervisor.

Las rampas o canales tendrán una pendiente mayor de 1:2 y estarán construidas adecuadamente para evitar la segregación del concreto. El concreto será depositado cerca a su posición final en la formaleta de modo que no haya que moverlo más de dos (2) metros dentro de la misma. La colocación del concreto se efectuará en forma continua hasta llegar a la junta indicada en los planos o la aceptada por el supervisor.

El concreto se colocará con la ayuda de equipo mecánico de vibradores, complementado por labores manuales. En ningún caso los vibradores se usarán para transportar concreto dentro de la formaleta. El equipo de vibración será accionado por electricidad o aire comprimido, y será del tipo interno que opere por lo menos entre 7 000 a 10 000 r.p.m. cuando se sumerja en el concreto. Se dispondrá de un número suficiente de unidades para alcanzar una consolidación adecuada.

Fuera de los vibradores necesarios para el vaciado, el contratista tendrá, mínimo, dos (2) vibradores de reserva, sin cumplir este requisito no se dará orden de vaciar. Sólo podrán utilizarse vibradores para formaleta, cuando el supervisor lo apruebe por circunstancias especiales.

Los vibradores se aplicarán directamente dentro de la masa de concreto, en posición vertical. La intensidad de la vibración y la duración de la operación de vibrado serán los necesarios y suficientes para que el concreto fluya y envuelva totalmente el refuerzo, alcanzando la consolidación requerida sin que se produzca la segregación de materiales.

Los vibradores serán insertados y retirados en puntos separados de 0,50 a 1,00 m. y la vibración será interrumpida tan pronto como aparezca un viso de mortero en la superficie. El aparato vibrador deberá penetrar en la capa colocada previamente para que las dos capas se ligen adecuadamente, pero no llegar hasta las capas más bajas que ya han obtenido su fraguado inicial o en concreto que no muestre plasticidad durante el vibrado o en sitios donde la vibración pueda afectar la posición del refuerzo o de materiales embebidos. La vibración será suplementada, si es necesario, por hurgado con varillas en las esquinas y ángulos de las formaletas mientras el concreto esté todavía plástico y trabajable.

Cuidados especiales en la colocación, la manipulación del concreto cerca de la superficie de la parte superior de una vaciada por etapas será la mínima necesaria para que produzca el grado de consolidación deseado y para que esta capa tenga una superficie rugosa que permita obtener buena adherencia con el concreto de la vaciada posterior. No se permitirá vibrado en la superficie o cualquier otra operación que tienda a producir una cara lisa en las juntas horizontales de construcción. Las superficies que no sean formaleteadas y que

no vayan a cubrirse con concreto, o rellenos, se llevarán hasta una cota ligeramente más alta que la indicada. Este exceso se quitará con la regla o se dará el acabado requerido como se indica en los planos.

Se tendrá cuidado especial para evitar la segregación del agregado grueso cuando el concreto se coloque a través del refuerzo. En las losas en donde la congestión del refuerzo haga difícil la colocación del concreto, podrá vaciarse una capa de mortero con la misma relación agua-cemento y arena-cemento que se usa para el concreto, pero sólo en la profundidad necesaria para cubrir la superficie del hierro de refuerzo. Este mortero se colocará inmediatamente antes de iniciar el vaciado del concreto para que en ese momento, el mortero se encuentre en estado plástico.

El concreto puede ser transportado en cubos, carretas, canaletas u otros medios adecuados. El punto de entrega del concreto estará tan cerca de la obra como sea posible, en caso de utilizarse canaletas, no se transportará el concreto dentro de ella por una distancia horizontal mayor de 2,50 m. Será depositado en capas que no excedan de cincuenta (50) centímetros y el tiempo que transcurra entre la colocación de dos capas sucesivas no excederá de 45 minutos. Se tendrá especial cuidado al colocar el concreto contra las formaletas, especialmente en los ángulos y esquinas, a fin de impedir vacíos, hormigueros y áreas rugosas.

El concreto será vibrado y paleteado, en forma tal que permita apartar el agregado grueso de las paredes de las formaletas. Se tomarán todas las precauciones para que el concreto colocado sea compacto, impermeable y de buen acabado superficial.

4.6.3. Secuencia de colocación del concreto

Además de los programas de trabajo exigidos en el pliego de condiciones, el contratista presentará una secuencia detallada de la colocación de los concretos por semana y notificará al Interventor veinticuatro (24) horas antes de cada vaciado, para que éste pueda verificar las condiciones necesarias para un vaciado satisfactorio. El contratista no empezará a colocar concreto hasta después de la revisión y aprobación del supervisor.

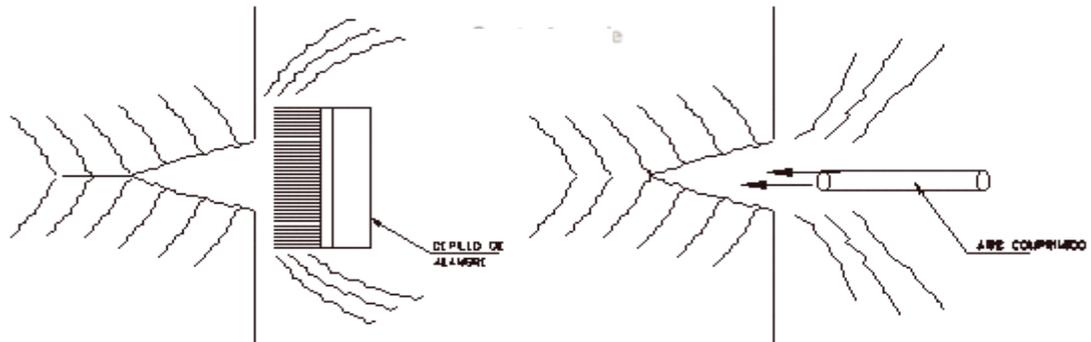
El concreto tendrá la consistencia y disposición que permita su colocación en todas las esquinas o ángulos de las formaletas, alrededor del refuerzo y de cualquier otro elemento embebido, sin que haya segregación. Las mezclas deben tener la consistencia que se requiere según los medios que se tengan para transportar y colocar el concreto en la obra.

4.6.4. Reparaciones de grietas en estructuras de concreto

Pasos a seguir para la inyección de grietas:

- a) Preparación de la superficie: limpiar con un cepillo de alambre el área de la grieta removiendo el concreto deteriorado, quedando una superficie libre de grasas y polvo. Cuando exista humedad en la fisura es preciso retirarla a base de aire comprimido de tal manera que la fisura quede totalmente seca.

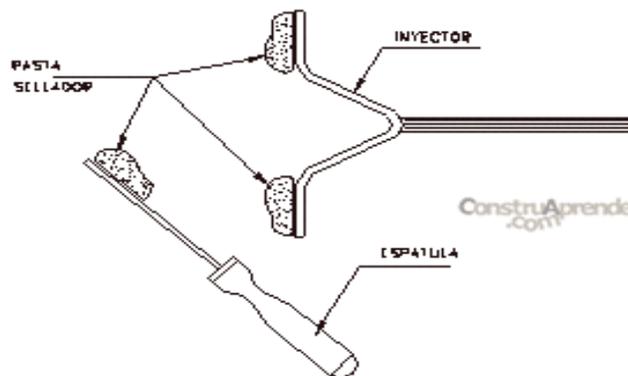
Figura 12. Limpieza de superficie de grieta



Fuente: elaboración propia.

- b) Colocación de la pasta: colocación de la pasta de poliéster (sellador) con una espátula sobre el inyector, esta pasta deberá ser capaz de soportar la presión de inyección sin que se bote.

Figura 13. Colocación de pasta

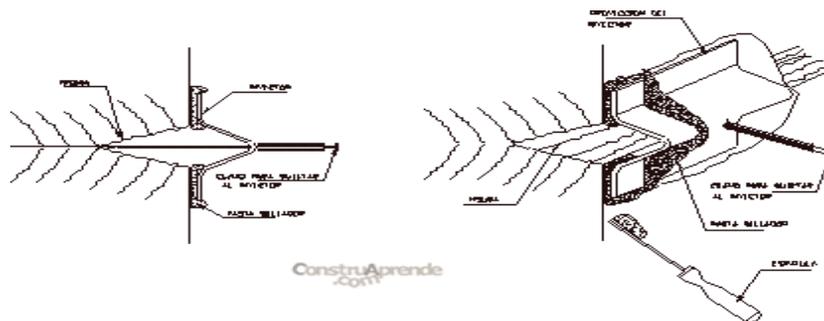


Fuente: elaboración propia.

- c) Colocación de inyectores. Colocar los inyectores a lo largo de la fisura sujetándolos por medio de un clavo. Colocar pasta sellador a lo largo de

toda la fisura de tal manera que no pueda fugarse la resina durante la inyección. Cuando las fisuras atraviesen todo el elemento se deberán colocar inyectores en ambos lados

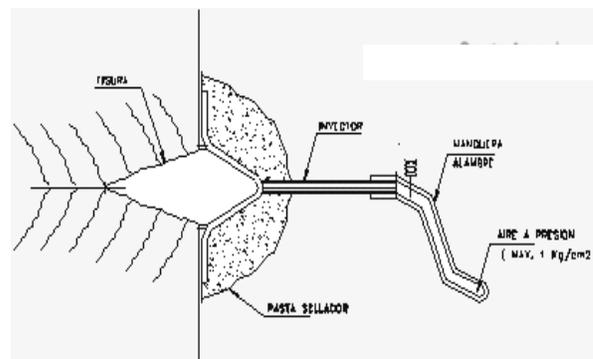
Figura 14. Colocación de inyectores



Fuente: elaboración propia.

- d) Prueba de sello. una vez endurecido el sello, se conectaran las mangueras a los inyectores y mediante aire a baja presión se comprobara la comunicación de todos los puntos de salida y la estanqueidad del sello.

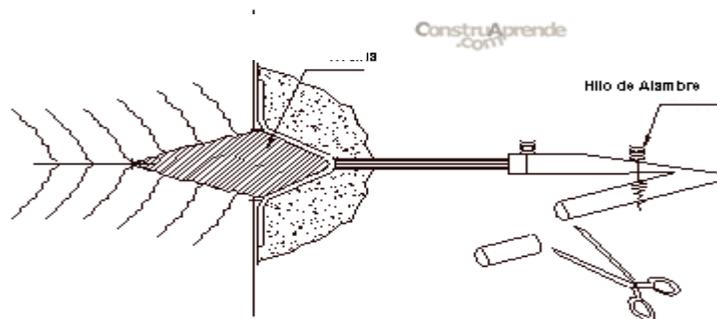
Figura 15. Verificación del sello



Fuente: elaboración propia.

- e) Inyección. Una vez comprobada la continuidad de los puntos se deberá realizar lo siguiente:
- Preparar la resina.
 - Iniciar la inyección por el punto extremo inferior de la fisura hasta que la resina salga por el siguiente punto.
 - Cortar la manguera y pizcarla con hilo de alambre de tal manera que esté totalmente cerrada.
 - Seguir inyectando hasta que la resina salga por el inyector superior, cerrarlo y mantener la presión durante algunos minutos para asegurar el llenado completo de la fisura.
 - Dejar un testigo de resina para que después se pueda verificar su endurecimiento.
 - Para realizar la inyección se utilizara un recipiente provisto de un manómetro de manera que se pueda controlar la presión de inyección (no mayor a 5 Kg/cm² y no menor a 1.5 Kg/cm²).

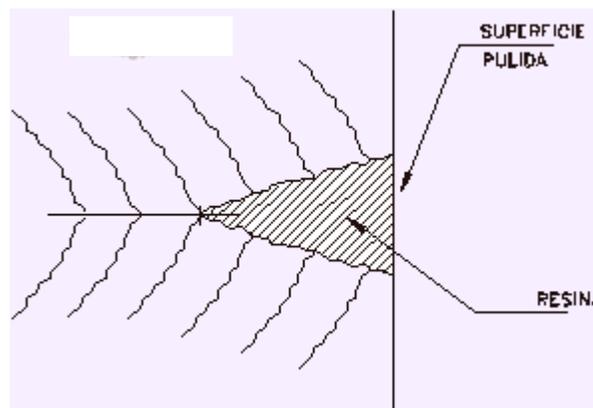
Figura 16. **Proceso de inyectado a la grieta**



Fuente: elaboración propia.

- f) Limpieza. Se deberá secar la resina por lo menos 24 horas y se verifica que haya endurecido. Una vez endurecida la resina, retirar la pasta sellador e inyectores, y limpiar y pulir la superficie.

Figura 17. Limpieza superficial de la grieta



Fuente: elaboración propia.

4.6.5. Curado del concreto

El curado es el proceso por el cual se busca mantener saturado el concreto hasta que los espacios de cemento fresco, originalmente llenos de agua sean reemplazados por los productos de la hidratación del cemento. El curado pretende controlar el movimiento de temperatura y humedad hacia dentro y hacia afuera del concreto.

Busca también, evitar la contracción de fragua hasta que el concreto alcance una resistencia mínima que le permita soportar los esfuerzos inducidos por ésta. La falta de curado del concreto reduce drásticamente su resistencia. Existen diversos métodos de curado: curado con agua, con materiales sellantes y curado al vapor. El primero puede ser de cuatro tipos: por inmersión, haciendo

uso de rociadores, utilizando coberturas húmedas como yute y utilizando tierra, arena o aserrín sobre el concreto recién vaciado.

El curado al vapor tiene la gran ventaja que permite ganar resistencia rápidamente. Se utiliza tanto para estructuras vaciadas en obra como para las prefabricadas, siendo más utilizado en las últimas. El procedimiento consiste en someter al concreto a vapor a presiones normales o superiores, calor, humedad, etc. El concreto curado al vapor, deberá tener una resistencia similar o superior a la de un concreto curado convencionalmente. Los cambios de temperatura no deben producirse bruscamente pues sino, ocasionan que el concreto se resquebraje.

El curado del concreto de los forjaos es muy importante, especialmente en tiempo seco, caluroso y con viento, por tener una superficie expuesta muy amplia. Durante el fraguado y primer periodo de endurecimiento del concreto, deberá asegurarse el mantenimiento de la humedad del mismo mediante un adecuado curado, que podrá realizarse mediante riego directo que no produzca deslavado. En general se recomienda un periodo mínimo de 3 días en invierno y 5 días en verano.

Curado por agua. El curado se hará cubriendo totalmente todas las superficies expuestas permanentemente saturados o manteniéndolas mojados por un sistema de tuberías perforadas, de regadores mecánicos u otro método apropiado, que las mantenga humedecidas, entendiéndose que no se permitirá el humedecimiento periódico, sino que este debe ser continuo. El agua que se utilice para curado será limpia y llenará los requisitos especificados para el agua de mezcla. Todo el equipo y materiales que se requieran para el curado adecuado del concreto se tendrá listo antes de iniciar la colocación del mismo.

Curado por compuestos sellantes, el contratista podrá hacer el curado por medio de compuestos sellantes con aprobación del Supervisor, en cuanto al tipo y características del compuesto que se utilice y al sitio de utilización del mismo. El compuesto cumplirá con las especificaciones C-309, ASTM.

El compuesto sellante deberá formar una membrana que retenga el agua del concreto y se aplicará a pistola o con brocha, inmediatamente después de retirar las formaletas y humedecer la superficie del concreto hasta que se sature. Cuando se utiliza compuesto sellante para el curado de concreto, las reparaciones de éste no podrán hacerse hasta después de terminar el curado general de las superficies. Las áreas reparadas se humedecerán o cubrirán con compuesto sellante siguiendo las precauciones generales del curado.

Figura 18. **Curado por compuestos sellantes**



Fuente: Los Encuentros, Nahualá.

Se entiende que el curado y la protección del concreto después de vaciado, hacen parte del proceso de fabricación del mismo y por consiguiente, los concretos que no hayan sido curados y protegidos como se indica en estas

especificaciones o como los ordene el supervisor, no se aceptarán y éste podrá rechazar el pago de ellos y ordenar su destrucción, cuando los curados no hayan sido satisfactorios.

4.6.6. Acabados del concreto

El acabado de todas las superficies será ejecutado por personal técnico y experto, y se hará bajo la vigilancia del supervisor, éste medirá las irregularidades de las superficies para determinar si están dentro de los límites aquí especificados.

Figura 19. **Acabado de superficie de rodadura**



Fuente: Los Encuentros, Nahualá.

Las irregularidades superficiales en los acabados se considerarán como bruscas o graduales.

Todas las juntas mal alineadas y los resaltos o depresiones súbitos producidos por mala colocación de las formaletas o por defectos de construcción, se consideran como irregularidades bruscas y se medirán directamente.

Las demás irregularidades se considerarán como graduales y se medirán por medio de reglas metálicas o su equivalente para superficies curvas. Se utilizarán reglas de 1,50 m. para superficies formaleteadas y de 3,00 m para superficies no formaleteadas.

Figura 20. **Reparación de acabado de superficie**



Fuente: Los Encuentros, Nahualá.

Las superficies para caras formaleteadas se clasifican en tres grupos: En términos generales y a menos que en los planos se muestre algo diferente o el supervisor ordene o autorice otro tipo de superficie para ciertas obras, ellas corresponden a la siguiente clasificación:

- a) Corresponde a las superficies formaleteadas que van a estar cubiertas por llenos. No necesitarán tratamiento especial después de retirar las formaletas, con excepción de la reparación de concretos defectuosos. La corrección de las irregularidades superficiales, se hará únicamente en las depresiones mayores de 2 cm.
- b) Corresponde a todas las superficies formaleteadas que no vayan a estar cubiertas por tierra y que no requieran el acabado especificado. Las irregularidades superficiales, medidas como se indicó anteriormente no serán mayores de 3 mm. para las graduales. Todas las irregularidades bruscas en la superficie y las graduales que excedan los límites permisibles, se suavizarán por medio de esmeril o de un equipo que permita eliminar la irregularidad. Las superficies que no requieren tratamiento especial con excepción de la reparación de las superficies defectuosas.
- c) Corresponde a las superficies de las estructuras expuestas en forma destacada a la vista del público y donde la apariencia estética es de especial importancia. Las irregularidades superficiales bruscas no excederán de 3 mm. y las graduales no serán mayores de 5 mm. Cuando las superficies para este tipo de acabados se aparten mucho de lo especificado serán sometidos al tratamiento o a la demolición si es del caso.

Las superficies expuestas a la intemperie que teóricamente sean horizontales, tendrán una pequeña pendiente para drenaje como se muestra en los planos o como lo indique el Interventor. La pendiente para superficies de poco ancho, será aproximadamente de 3% y para superficies amplias, tales como pisos serán del 1% al 2%, como se encuentra indicada en los planos. El acabado consiste en ejecutar las operaciones necesarias, recorriendo la superficie con regla para obtener una cara uniforme y suficientemente nivelada. Las irregularidades superficiales, bruscas o graduales, no serán mayores de 1 mm.

4.6.7. Ensayo de lechada

Los miembros del postesado serán preferiblemente del tipo de adherencia, en que el acero a ser tensado es introducido en conductos de metal flexible, moldeados en el hormigón y adheridos al hormigón circundante, llenando los tubos o conducto con lechada de cemento. La lechada deberá ser una mezcla de cemento con arena fina (que pase el tamiz N° 30) en las proporcionadas de una parte de cemento por 0,75 partes de arena, pudiendo modificarse la proporción para componer una lechada que tenga consistencia apropiada.

Toda armadura para ser adherida deberá estar libre de toda suciedad, modo suelto, grasa u otras sustancias deletéreas. Antes de inyectar la lechada los conductos deberán estar libres de agua, de suciedad, o de cualquier otra sustancia extraña. Se soplarán los conductos con aire comprimido hasta que no salga agua del conducto. Para las piezas largas con cables trenzados revestido, puede ser necesario un tubo o caño abierto en la parte inferior del conducto.

La lechada deberá ser fluida (la consistencia de la pintura gruesa) pero proporcionada de modo que el agua libre no se separe de la mezcla.

Figura 21. **Preparación de lechada**



Fuente: Los Encuentros, Nahualá.

Puede añadirse polvo de aluminio áspero en una cantidad de una o dos cucharillas de saco por cemento. Se pueden usar plastificantes comerciales, empleados con la recomendación del fabricante, siempre que no contengan ingredientes que sean corrosivos al acero. Se ejercitara la suficiente presión en las inyecciones de cemento de modo de formar la lechada integra a través del conducto, teniendo cuidado de que no produzca la ruptura de los conductos.

4.6.8. Tensado de cables

Pretensado

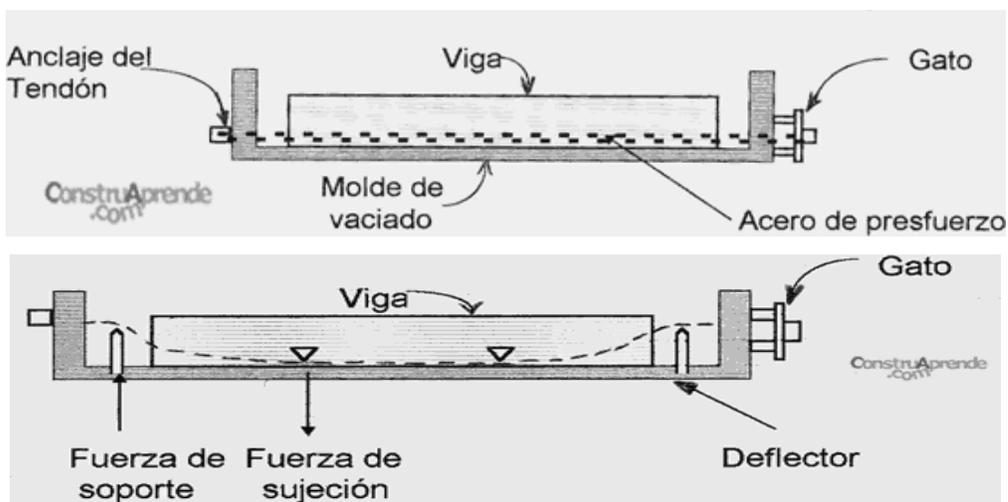
Los tendones, generalmente son de cable torcido con varios torones de varios alambres cada uno, se restiran o se tensan entre apoyos. Se mide el

alargamiento de los tendones, así como la fuerza de tensión aplicada con los gatos. Con la cimbra en su lugar, se vacía el concreto en torno al tendón esforzado.

A menudo se usa concreto de lata resistencia a corto tiempo, a la vez que es curado con vapor de agua, para acelerar el endurecimiento. Después de haberse logrado la resistencia requerida, se libera la presión de los gatos. Los torones tienden a acortarse, pero no lo hacen por estar ligados al concreto por adherencia.

En esta forma la fuerza de presfuerzo es transferida al concreto por adherencia, en su mayor parte cerca de los extremos de la viga. Con frecuencia se usan uno, dos o tres depresores intermedios del cable para obtener el perfil deseado. Estos dispositivos de sujeción quedan embebidos en el elemento al que se le aplica el presfuerzo.

Figura 22. **Métodos de pretensado**



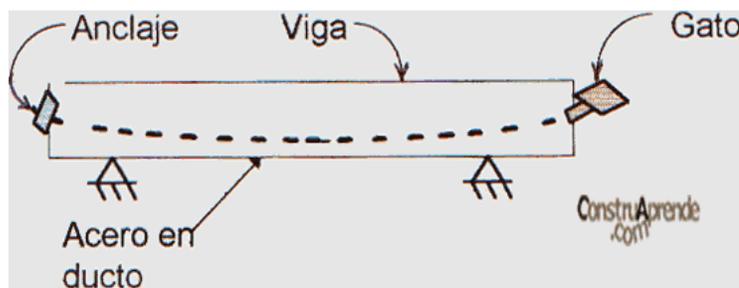
Fuente: FLORES SÁNCHEZ, Jesús. Conservación de puentes carreteros. Página 502.

Postensado

Cuando se hace el presforzado por postensado, generalmente se colocan en los moldes de las vigas ductos huecos que contienen a los tendones no esforzados, y que siguen el perfil deseado, antes de vaciar el concreto. Los tendones pueden ser alambres paralelos atados en haces, cables torcidos en torones, o varillas de acero. El ducto se amarra con alambres al refuerzo auxiliar de la viga (estribos sin reforzar) para prevenir su desplazamiento accidental, y luego se vacía el concreto. Cuando éste ha adquirido suficiente resistencia, se usa la viga de concreto misma para proporcionar la reacción para el gato de esforzado.

La tensión se evalúa midiendo tanto la presión del gato como la elongación del acero. Los tendones se tensan normalmente todos a la vez ó bien utilizando el gato monotorón. Normalmente se rellenan de mortero los ductos de los tendones después de que éstos han sido esforzados. Se forza el mortero al interior del ducto en uno de los extremos, a alta presión, y se continua el bombeo hasta que la pasta aparece en el otro extremo del tubo. Cuando se endurece, la pasta une al tendón con la pared interior del ducto.

Figura 23. **Método de postensado**



Fuente: FLORES SÁNCHEZ, Jesús. Conservación de puentes carreteros. Pagina 558.

El uso de acero de alta resistencia para el presfuerzo es necesario por razones físicas básicas. Las propiedades mecánicas de este acero tal como lo revelan las curvas de esfuerzo-deformación, son algo diferentes de aquellas del acero convencional usado para el refuerzo del concreto.

Las varillas de refuerzo comunes usadas en estructuras no presforzadas, también desempeñan un papel importante dentro de la construcción del presforzado. Se usan como refuerzo en el alma, refuerzo longitudinal suplementario y para otros fines. El concreto empleado en miembros presforzados es normalmente de resistencia calidad más alta que el de las estructuras no presforzadas.

El tensado de la armadura a postensar no deberá iniciarse hasta que se hayan efectuado con cilindros de hormigón fabricados del mismo concreto, cuyos resultados demuestren que el hormigón del miembro particular a pretensar haya obtenido una resistencia a la compresión por lo menos 290 Kg/cm².

Cuando esto haya sucedido, el alargamiento se efectuara por medio de gatos hasta la tensión deseada, y está será transferida a los extremos del anclaje. El proceso de tesado deberá llevarse a cabo de manera tal que se pueda medir en todo momento la tensión aplicada y el alargamiento de los elementos de pretensado.

En todo momento se llevara un registro de las tensiones y alargamientos, el que será sometido previamente a la aprobación del Ingeniero. Dicho registro deberá ser anotado tanto por el contratista como por el Ingeniero, salvo que se indique de otro modo.

Durante el tesado se realizara un control continuo de la presión manométrica y del alargamiento de los cables de intervalo de 10 MPa, considerándose finalizado el proceso al alcanzar un esfuerzo aplicado que correspondía manométricamente en MPa y obtener el alargamiento calculado. Alcanzados los valores, se procedió al anclaje de los cables y al posterior inyectado de las vainas con una lechada de cemento normal, aplicada mediante bombeo.

5.1.1. Condiciones topográficas

La situación del departamento sobre la cordillera hace a su suelo muy accidentado, presentando alturas de consideración relativa, desde las cuales se observan panoramas sorprendentes, estando enclavado casi en el centro del departamento el lago de Atitlán y en sus inmediaciones los volcanes de Atitlán, San Pedro y Tolimán.

Con variedad de clima debido a su topografía, su suelo es naturalmente fértil, inmejorable para toda clase de cultivos conforme a la elevación.

5.1.2. Condiciones climatológicas

El departamento de Sololá se encuentra situado en la región VI o región sur occidental, su cabecera departamental es Sololá, está a 2113,50 metros sobre el nivel del mar y a una distancia de 140 kilómetros de la ciudad capital de Guatemala.

Cuenta con una extensión territorial de 1061 kilómetros cuadrados, con los siguientes límites departamentales: al norte con Totonicapán y Quiché, al sur con Suchitepéquez, al este con Chimaltenango; y al oeste Suchitepéquez y Quetzaltenango. Se ubica en la latitud 14°46'26" y longitud 91°11'15". Su precipitación pluvial es de 2895,9 mm., con un clima generalmente frío, aunque el departamento posee una variedad de climas debido a su topografía, por lo que su suelo es naturalmente fértil, inmejorable para toda clase de cultivos.

Las montañas definen mucha variabilidad con elevaciones mayores o iguales a 1400 metros snm, generando diversidad de microclimas, son regiones

densamente pobladas por lo que la acción humana se convierte en factor de variación apreciable.

Las lluvias no son tan intensas, los registros más altos se obtienen de mayo a octubre, en los meses restantes estas pueden ser deficitarias, en cuanto a la temperatura en diversos puntos de esta región se registran los valores más bajos de país. En esta región existen climas que varían de Templados y Semifríos con invierno benigno a semicalidos con invierno benigno, de carácter húmedos y semisecos con invierno seco.

5.1.3. Condiciones geográficas

El departamento de Sololá tiene una extensión de 1061 kilómetros cuadrados. El lago de Atitlán, ocupa un área de 125,7 kilómetros cuadrados, equivalente a 11,8% del territorio del departamento, siendo el segundo lago más grande del país. Este lago tiene desagüe subterráneo, el cual se supone que se dirige hacia el río Madre Vieja, en el departamento de Suchitepéquez.

Los accidentes geográficos más importantes son los volcanes de Atitlán (3537 metros sobre el nivel del mar) San Pedro o Nimajuyú (3020 msnm) y Tolimán (3158 msnm).

Sololá: es la cabecera del departamento y se sitúa a 135 kms. De la capital. El origen de Sololá se describe en los Anales de los Cachiqueles o Memorial de Sololá. Sololá se fundó en 1541, año en que fue erigida su catedral.

La capacidad productiva de los suelos del departamento, pertenece a las clases agro biológicas V; VI, VII, y VIII, las cuales están constituidas por suelo

no cultivables, los que en su mayor parte solo pueden ser destinados a cultivos permanentes, a pastos y bosques. Únicamente el 8,5% de los suelos pertenecen a las clases II, III y IV y pueden ser cultivados con pocas, medianas o severas limitaciones.

La zona de vida predominante en el departamento de Sololá es el bosque húmedo montano bajo subtropical que ocupa el 43% del territorio. Le sigue el bosque muy húmedo montano bajo subtropical con el 40%; el bosque muy húmedo subtropical cálido con el 14% y el bosque muy húmedo montano subtropical con el 3%.

Cabecera	Sololá:
Altura	2,113 m SNM,
Extensión	1,061 km ²
Coordenadas	14° 46´26´´ Latitud 91°11´15´´ Longitud
Población	310,639 habitante

Colinda al norte con los departamentos de Totonicapán y Quiché; al este con el de Chimaltenango; al sur con el de Suchitepéquez; al oeste con los de Suchitepéquez y Quetzaltenango. Se erigió como departamento por Decreto de la Constituyente del 4 de febrero de 1 825.

5.2. Estudio hidrológico e hidráulico

Estudio hidrológico: Por medio de la Hidrología se analiza la cuenca vertiente y se cuantifican los regímenes de caudales, niveles y sedimentos del río o del cauce pluvial, en el tramo de influencia del Puente Carretero. Estudio hidráulico: Los objetivos de los estudios hidráulicos son el dimensionamiento del

puede en lo referente a altura y luces, el encauzamiento de la corriente y la protección de estribos y pilas contra socavación y ataques de la corriente. La determinación de las variables hidráulicas se basa en el análisis de la información Hidrológica, en los registros de los levantamientos topográficos, en los análisis granulométricos y de clasificación de muestras del material que conforma el lecho y las orillas del cauce, y en los estudios de Geotecnia y de Geomorfología.

Se requiere como información indispensable para la realización del cálculo hidráulico, levantamientos topográficos de las secciones transversales del cauce a cada 20 metros en un tramo no menor de 200 metros, 100 metros aguas arriba y 100 metros aguas abajo del puente, para el caso de que el obstáculo que salva el Puente Carretero es un cauce pluvial o el cauce de un río.

5.3. Procedimientos y aspectos a supervisar en la construcción de la subestructura

Cimentación

Los lugares para cimentaciones se deberán excavar conforme los planos, para permitir la construcción de las mismas a todo su ancho y longitud y dejando un fondo con una superficie plana y horizontal.

Cuando la cimentación deba asentarse sobre una superficie excavada que no sea roca, el constructor deberá tener especial cuidado para no perturbar el fondo de la excavación, tomando la precaución adicional de no remover el material del fondo de la excavación hasta la cota de cimentación prevista, sino

en el instante en que se encuentre debidamente preparado para colocar el cemento.

Cuando se encuentre un fondo rocoso, la excavación se deberá ejecutar de tal forma, que la roca sólida quede expuesta y preparada en lechos horizontales o dentados para recibir el concreto, debiendo ser removidos todos los fragmentos de roca suelta o desintegrada, así como los estratos muy delgados. Las grietas y cavidades que queden expuestas, deberán ser limpiadas y rellenadas con concreto o mortero.

Figura 25. **Base de zapata puente Argueta**



Fuente: Los Encuentros, Nahualá.

Pilotes

En la construcción general de los pilotes detallar el método a utilizar en la excavación del pilote y de los procedimientos a seguir para mantener la alineación vertical y horizontal correcta durante la excavación. La colocación del

acero de refuerzo incluyendo los métodos a seguir para el soporte y la centralización de la armadura. Si el material se derrumba dentro del agujero perforado o el agujero se deforma en exceso, se deberá colocar un entubado en la excavación.

Estribo

El Contratista tiene que proveer y mantener un Sistema de Control de Calidad adecuado junto con el personal, equipo, suministros y facilidades necesarias para obtener muestras, realizar pruebas y controlar la calidad del trabajo.

Se verificara si el trabajo en ejecución y los materiales que se están utilizando, concuerdan con los planos y las especificaciones. Durante la construcción, se deberá cuidar de no dañar las estructuras que se ubiquen a lo largo del alineamiento, como los estribos y pilas. Cuando se inspeccionan estribos o pilares de concreto, debe observarse defectos de cualquier tipo. Los más frecuentes son los siguientes:

- Deterioro del concreto en la línea de agua.
- Deterioro del concreto en la zona de los apoyos.
- Grietas en los estribos, especialmente en el encuentro entre el cuerpo y las alas. Estas grietas deben observarse a través del tiempo para ver si aumentan. Cuando estas grietas se pronuncian, indican que hay movimiento estructural que puede ser causado por problemas de cimentación.

Los taludes alrededor de los estribos y alas se deben construir en escalones. Los rellenos alrededor de los estribos y pilas deben ser construidos simultáneamente, a ambos lados y a la misma altura. No se debe colocar ningún relleno contra cualquier estructura de concreto, sino hasta que se autorice y en ningún caso antes de que el concreto haya alcanzado la resistencia necesaria para soportar los esfuerzos producidos por la construcción de dicho relleno.

Recepción de materiales

Se debe comprobar que todos los materiales empleados en la construcción, disponen de certificado de control, emitido por el fabricante. En ausencia de certificado de control, los materiales deben ser examinados por un laboratorio homologado, que disponga de las instalaciones apropiadas y de personal cualificado para los ensayos a efectuar. Los resultados deberán estar conformes con los valores nominales de las características mecánicas y químicas exigidas en las normas correspondientes.

Los materiales necesarios para la ejecución de las obras serán suministrados por el Constructor; por lo tanto, será de su responsabilidad la selección de las fuentes por utilizar, teniendo en cuenta que los materiales deberán cumplir con todos los requisitos de calidad exigidos en las presentes especificaciones generales de construcción y las recomendaciones y requerimientos establecidos en los estudios técnicos del proyecto.

El constructor deberá conseguir oportunamente todos los materiales y suministros que se requieran para la construcción de las obras y mantener permanentemente una cantidad suficiente de ellos para no retrasar el progreso de los trabajos.

Todos los materiales están sujetos a inspección, muestreo, pruebas, repetición de pruebas y rechazo, en cualquier momento antes de la utilización de los materiales. Los materiales suministrados y demás elementos que el Constructor emplee en la ejecución de las obras deberán ser de primera calidad y adecuados al objeto que se les destinan. Los materiales y elementos que el Constructor emplee en la ejecución de las obras sin la aprobación del Supervisor podrán ser rechazados por éste cuando no los encuentre adecuados.

5.4. Procedimientos y aspectos a supervisar en la construcción de la superestructura Vigas de concreto

Para tener un buen control en la construcción de las vigas es necesario chequear:

- La losa de una viga de sección T.
- Los elementos de apoyo.
- Exposición del acero de refuerzo por corrosión.
- Grietas en los extremos de las vigas.
- Cualesquiera de los defectos mencionados con respecto a vigas de concreto, son muy significativos en vigas de presfuerzo. Si se encuentra una grieta abierta, esto debe ser advertido y notificado de inmediato.

Figura 26. Armado de viga puente Novillero



Fuente: Los Encuentros, Nahualá.

Tableros

Los tableros deben examinarse para determinar si hay riesgo de deslizamiento de los vehículos sobre su superficie debido a falta de rugosidad en el piso. Debe observarse que no haya empozamiento de agua por la obstrucción de los drenes. Examinar para detectar grietas, descascamientos u otros signos de deterioro y determinar su estado del acero. Las grietas en el concreto permiten que la humedad afecte al acero de refuerzo el cual al oxidarse se expande y causa desprendimiento del concreto.

Figura 27. **Armado de losa puente Argueta**



Fuente: Los Encuentros, Nahualá.

Barandales de puentes

El concreto para los barandales de puentes se debe colocar después de que se hayan removido los puntales y demás obra falsa y formaletas en toda la luz. En la construcción de soleras y cabezales o coronamientos fundidos en el lugar, se deben tomar precauciones para la colocación, alineamiento y remoción de la formaleta, y se debe tener cuidado especial para no dañar o manchar durante el proceso de fundición y acabado del concreto, los postes prefabricados u otros componentes prefabricados utilizados.

Superficie de rodadura

El deterioro en la losa del puente, puede ser causado tanto por agentes naturales como por el incremento de cargas rodantes, así como también por daños producidos por impactos de vehículos y por el tiempo de servicio o período de diseño de vida útil. Cualquier tipo de superficie de rodadura puede

ocultar los defectos del tablero. Esta superficie debe observarse con mucho cuidado para buscar evidencia del deterioro del tablero.

Figura 28. **Textura de rodadura puente Novillero**



Fuente: Los Encuentros, Nahualá.

Acceso al puente

Son importantes por su conexión al puente y deben estar a nivel con el tablero. Si la transición no es suave, los efectos del impacto pueden aumentar la energía de las cargas que ingresan al puente, causando daño estructural. El pavimento de los accesos debe observarse para detectar la presencia de baches, asentamientos o excesiva rugosidad.

La junta entre las losas de aproximación y los estribos, diseñada para el movimiento causado por las variaciones de temperatura, debe ser examinada para comprobar su debida abertura y sello apropiado.

Figura 29. **Estribo de entrada puente Stan II**



Fuente: Los Encuentros, Nahualá.

Lechada

Se define como lechada, para inyección de conductos en obras de hormigón pretensado, la mezcla de mezcla de carácter coloidal de cemento, agua y, eventualmente, arena fina, y productos de adicción, que se inyecta en los conductos de las armaduras activas para establecer la necesaria adherencia entre dichas armaduras y el hormigón, así como para protegerlas contra la corrosión. La mezcla se preparara mecánicamente, con maquinaria apropiada, que deberá constar de mezclador, en el que se realizará la mezcla íntima de componentes y mantener la mezcla en agitación continua para evitar la segregación y sedimentación de la lechada antes de su inyección.

La inyección deberá llevarse a cabo lo antes posible después del tensado no debiendo Transcurrir entre la iniciación de éste y el principio de aquélla más de un mes, salvo si se ha previsto una adecuada protección provisional de las armaduras. En ambientes agresivos, el plazo indicado deberá disminuirse

convenientemente. Antes de proceder a la inyección deberá limpiarse el conducto con agua a presión y luego aire a presión observando si este llega a salir por el extremo opuesto en forma continua y regular o si por el contrario existen algún tapón en el conducto capaz de impedir el paso de la inyección en cuyo caso se tomaran las medidas oportunas para asegurar que el conducto quede correctamente inyectado, no deberán transcurrir más de 30 minutos desde el amasado hasta el comienzo de la inyección, a no ser que se utilicen retardadores.

La mezcla de concreto, agua y aditivos debe ser hecha bajo un control estricto de tiempo y velocidad de mezclado y no debe contener terrones ni burbujas de aire durante el inyectado dentro de los ductos. Las inyectoras deben de tener la operación de mezclado e inyectado en una simple pieza de equipo fácilmente maniobrable, sin presencia de burbujas de aire, usando cualquier tipo de cemento y aditivo.

Figura 30. **Preparación de lechada para conductos puente Stan I**



Fuente: Los Encuentros, Nahualá.

La inyección de cada conducto se hará de forma continua e ininterrumpida, y con la uniformidad necesaria para impedir la segregación de la mezcla. Una vez efectuada la inyección, se mantendrá la presión en los conductos durante treinta segundos (30 s), como mínimo, y a continuación se cerrará la válvula o llave situada antes de la boquilla. En conductos muy largos o de gran sección útil, se intentará reinyectar antes de las dos horas (2 h), para eliminar la posible reducción de volumen de la mezcla y los posibles huecos situados en la parte superior de los conductos.

5.5. Resultado de ensayos

Lograr determinar que tan comparables son los resultados de estos ensayos (variabilidad entre laboratorios), hechos sobre los mismos materiales, muestreados al mismo tiempo por diferentes técnicos laboratoristas de las diferentes entidades.

Que cada laboratorista, pueda comparar y evaluar los resultados, contra el valor de referencia adoptado y los valores del diseño hecho en los o el laboratorios.

Los resultados deberán ser reportados, continuamente en unidades del Sistema Internacional, y firmadas por el laboratorista, con su correspondiente valor ensayado en el laboratorio, de la siguiente manera:

Resultados de medición de temperatura y asentamiento, el día de la ejecución de los ensayos. Nombre del elemento estructural que se fundió y el volumen de concreto que se utilizo.

Resultados del ensayo de resistencia a compresión a los 7 días

Resultados del ensayo de resistencia a compresión a los 14 días

Resultados del ensayo de resistencia a compresión a los 28 días.

Dado que la muestra de concreto fresco recién mezclado, no puede tener valores asignados previamente, al menos serán aplicados dos modos de evaluación. Uno, contra el valor de referencia que se asignará durante el ejercicio, y el otro contra el valor de consenso estimado de los valores que reporten los laboratorios en particular.

Se presentarán gráficas mostrando todos los resultados con su ubicación relativa en orden ascendente. En este reporte gráfico, habrá indicación del valor de la Incertidumbre estimada de cada elemento estructural.

CONCLUSIONES

1. La elaboración de una guía de control de calidad para construcción de puentes, es una herramienta que nos permite controlar los trabajos de una manera adecuada para el aseguramiento de la calidad del proyecto.
2. La supervisión de los trabajos de campo, como la topografía, mecánica de suelos o geología, ambiental, hidrología, deben ser realizados correctamente para obtener un control de calidad apropiado del proyecto.
3. La supervisión controlará, evaluará y verificará documentalmente y por medio de ensayos, los resultados obtenidos y tendrá la potestad, en el caso de dudas, de solicitar al contratista la ejecución de ensayos especiales en laboratorios independientes.
4. Es fundamental comprobar la calidad y cantidad de los agregados piedrín y arena de río disponibles para la fundición de cualquier elemento, igualmente la cantidad de cemento y la disponibilidad de agua, mano de obra, equipo y el andamiaje, que se haga necesario para facilitar la labor conforme especificaciones, comprobar las proporciones de la mezcla del concreto requerida.
5. Es de suma importancia que el supervisor conozca los estudios preliminares, para la construcción de puentes vehiculares de concreto reforzado, por ello en la guía práctica encontrará los lineamientos para una correcta supervisión, evaluación y con ello garantizar una etapa de ejecución eficiente.

6. La guía presenta los distintos materiales de construcción a inspeccionar y evaluar dentro de la ejecución de puentes vehiculares de concreto reforzado, es de suma importancia conocer los distintos ensayos o pruebas que se deben calificar en agregados de concreto así como de los tipos de concreto a utilizar en fundiciones de puentes vehiculares.
7. En toda obra civil, es necesario que el supervisor, conozca, clasifique, distingue e inspeccione los distintos tipos de cimentación, y en puentes vehiculares la sub-estructura es un elemento significativo que garantiza la transmisión de cargas dinámicas al suelo firme de cimentación.
8. Cada puente vehicular posee elementos estructurales específicos, la guía práctica presenta los dos elementos básicos a supervisar en la etapa de construcción, el concreto como un aglomerante de materiales y el acero de refuerzo como un elemento que le genera ductilidad.

RECOMENDACIONES

1. La mezcla de los agregados del concreto se caracteriza por la relación agua-cemento, por lo que se recomienda la supervisión adecuada, en campo para no perder el objetivo de la resistencia del concreto.
2. Los materiales de construcción, tienen especificaciones técnicas por lo que es necesario un control estricto, verificando su certificado de calidad así como ensayos en laboratorios ajenos al contratista para garantizar la calidad de los materiales.
3. Los materiales de construcción en proyectos de puentes vehiculares, en su mayoría, lo integra el concreto con una resistencia definida en las especificaciones, por lo que es necesario un control de calidad estricto, en el momento de la fabricación y colocación del concreto tomando en cuenta la resistencia que se quiera llegar base a los diseños realizados. El ingeniero delegado residente es el obligado a verificar la calidad.
4. Cuando se calcula el volumen del agregado dentro del concreto es necesario el ensayo de peso específico, y para establecer las relaciones peso/volumen que sirven para el manejo de los agregados se utiliza el peso unitario; si este se calcula con regularidad en una obra sirve para descubrir posibles cambios bruscos en la granulometría o en la forma del agregado.

5. Los diferentes ensayos aplicados a los agregados en el laboratorio son fundamentales para saber su nivel de calidad, que será determinado al comparar los resultados con las normas; los agregados o áridos son parte esencial de cualquier mezcla de concreto y/o mortero ya que forman gran parte de la mezcla en cuanto a volumen se trata.
6. Para el diseño de los diferentes elementos estructurales del puente, se necesita que sea diseñado con un profesional en estructuras y que se utilice los materiales adecuados con base al código ACI y de las bases, especificaciones técnicas y disposiciones especiales.
7. Es necesario realizar los estudios geológicos e hidráulicos para conocer, el tipo de suelo y la corriente con la cual va a ser cimentado el puente y con base a estos estudios se realiza la protección adecuada para tener una estructura firme y segura.
8. Cuando se arman los diferentes elementos estructurales, se necesita realizarlo en base a planos especificaciones generales, especificaciones técnicas y disposiciones especiales, tomando en cuenta longitud, cantidades, ubicación y formas del acero.

BIBLIOGRAFÍA

1. *American Association of State Highways and Transportation Officials* Standard Specifications for highways and bridges, 16^a edition. Estados Unidos: (AASHTO), 1996. 760 p.
2. *American Society for Testing and Materials*. Estados Unidos: (ASTM), 1998. 177 p.
3. Banco Centroamericano de Integración Económica. *Normas de evaluación ambiental*. Guatemala: Banco Centroamericano de Integración Económica, 1998. 430 p.
4. *Building Code Requirements for Structural Concrete*. ACI 318–95. Michigan: American Concrete Institute, 1995. 495 p.
5. CRESPO VILLALAZ, Carlos. *Mecánica de suelos y cimentaciones*. 4^a ed. México: Limusa, 1999. 640 p.
6. Flores Sánchez, Jesús. Conservación de puentes carreteros. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Acatlán, Universidad Nacional Autónoma de México, 2001, 85 p.
7. Ministerio de Transporte y Comunicaciones. *Guía para inspección de puentes*. Argentina: MITRACO, 2002. 150 p.

8. NILSON, Arthur H. *Diseño de estructuras de concreto*. 12^a ed. Colombia: McGraw–Hill Interamericana, 2001. 722 p.