

## ¿POR QUÉ EL TUBO DE CONCRETO?

### **El tubo está fabricado con concreto**

El concreto es el material más comúnmente utilizado para la construcción. En su forma más simple, el concreto es una mezcla de pasta y agregados. La pasta, compuesta de cemento Pórtland y agua, cubre la superficie de los agregados finos y gruesos. Mediante una reacción química llamada rehidratación, la pasta se endurece y gana fuerza para formar la masa parecida a una roca conocida como concreto.

En este proceso se encuentra la clave de una característica notable del concreto: es plástico y maleable cuando está acabado de mezclar, y fuerte y durable cuando se endurece. Estas cualidades explican por qué con un material, el concreto, se pueden construir rascacielos, puentes, banquetas, supercarreteras, casas, presas, y cajones y tubos de alcantarillado sanitario y pluvial prevaciados.

Una mezcla de concreto correctamente proyectada tendrá la deseada viabilidad del concreto fresco y la dureza y resistencia requerida del concreto endurecido. Típicamente, una mezcla consiste de aproximadamente de 10 a 15 por ciento de cemento, 60 a 75 por ciento de agregado y de 15 a 20 por ciento de agua. El aire encapsulado en muchas mezclas de concreto también puede llevarse otro 5 a 8 por ciento.

La química del cemento Portland toma vida en la presencia de agua. Las cualidades del concreto son determinadas por la calidad de la pasta. La resistencia de la pasta, a su vez, depende de la proporción del agua con relación al cemento. La proporción de agua-cemento es el peso de agua para la mezcla dividido entre el peso del cemento. Un concreto de alta calidad se produce al disminuir la proporción agua-cemento tanto como sea posible sin

sacrificar la funcionalidad del concreto fresco. Generalmente, al utilizar menos agua se produce un concreto de mayor calidad siempre y cuando el concreto sea adecuadamente colocado, consolidado y curado. Aunque la mayoría del agua potable es apropiada para ser utilizada con el concreto, el agregado se selecciona cuidadosamente. El agregado comprende de un 60 a 75 por ciento del volumen total del concreto. El tipo y tamaño de la mezcla de agregado depende del espesor (densidad) y propósito del producto final de concreto. Casi cualquier tipo de agua natural potable que no tiene un aroma o sabor fuerte puede utilizarse como agua de mezcla para el concreto. Sin embargo, algunas aguas que no son potables podrían ser adecuadas para el concreto. Generalmente algunas especificaciones ponen ciertos límites sobre los cloruros, los sulfatos, álcalis, y sólidos a menos que se puedan realizar pruebas para determinar el efecto que tienen las impurezas sobre varias propiedades. Es deseable una gradación continua del tamaño de las partículas para un uso eficiente de la pasta. Asimismo, el agregado deberá estar limpio y libre de cualquier material que pueda afectar la calidad del concreto.

### **Inicio de la Hidratación**

Poco después de que se combinan el agregado, el agua y el cemento, la mezcla empieza a endurecer. Todos los cementos Pórtland son cementos hidráulicos que fraguan y endurecen mediante la reacción química con el agua. Durante la hidratación, se forma un nódulo en la superficie de cada partícula de cemento. El nódulo crece y se expande hasta unirse con los nódulos de otras partículas de cemento o se adhiere al agregado adyacente.

2

El curado inicia después de que las superficies expuestas del concreto se han endurecido lo suficiente como para resistir el daño superficial. El curado asegura una continua hidratación

del cemento y un aumento en la resistencia del concreto. Las superficies del concreto se fraguan mediante vapor o agua. Mientras más tiempo se conserve el concreto húmedo, más resistente y durable este será. La tasa de endurecimiento depende de la composición y la fineza del cemento, las proporciones de la mezcla, y las condiciones de humedad y de temperatura de la hidratación y el incremento de la resistencia se llevan a cabo durante el primer mes del ciclo de vida del concreto, pero la hidratación continúa a un ritmo menor por muchos años. El concreto continúa endureciéndose conforme pasan los años. Los productos de concreto prevaciado son moldeados en fábrica. Estos productos tienen la ventaja de un estricto control de calidad presente en una planta de producción. Estos productos prevaciados varían desde ladrillos de concreto hasta bloques de pavimentación y vigas de los puentes, componentes estructurales, y paneles para revestimiento. El tubo de concreto prevaciado se produce en planta bajo ambientes altamente controlados con normas estrictas de producción y especificaciones de prueba.

**El tubo de concreto prevaciado reforzado es el producto con mayor duración para drenaje.**

La durabilidad del material de tubo es tan importante como la capacidad de los productos hechos con tal material para realizar las funciones hidráulicas y estructurales. La capacidad del tubo para funcionar conforme se espera durante la vida planeada de un proyecto es una consideración fundamental de ingeniería, especialmente en el ámbito económico actual en donde los requerimientos de análisis del costo del ciclo de vida y la administración de los recursos se han implementado para asegurar una infraestructura subterránea sustentable.

La durabilidad no se define tan claramente como las normas estructurales e hidráulicas para los sistemas de tubo de drenaje, debido a que incluye el funcionamiento del concreto y las estructuras reforzadas de concreto. La durabilidad se relaciona con la esperanza de vida y las características de resistencia de un material o estructura. Entre otras consideraciones, la naturaleza variable del clima, el desgaste por erosión, el suelo y la geología, la química de fluidos, las técnicas de instalación del producto, la producción en la planta, las mezclas de material y la calidad de la materia prima, dificultan la definición de la durabilidad y la predicción del desempeño.

El término durable se define en el diccionario Webster's New Collegiate como, "capaz de existir por largo tiempo sin un deterioro significativo." La durabilidad se define es definida por la CSA (Asociación Canadiense de Normas) como, "La habilidad de una construcción o de cualquiera de sus componentes de realizar su función requerida sobre un periodo de tiempo proyectado." Y, el Comité 201 del ACI (Instituto Americano del Concreto) define la durabilidad del cemento de concreto Pórtland como, "La habilidad para resistir la acción del desgaste por erosión, el ataque químico, la abrasión, o cualquier otro proceso de deterioro."

El concreto es intrínsecamente un material muy durable que durará indefinidamente si está diseñado apropiadamente para su ambiente y uso proyectados, si está producido mediante un buen control de calidad, si es colocado con el cuidado y experiencia requeridos, y se ha curado completa y apropiadamente. El concreto es, sin embargo, potencialmente vulnerable a una variedad de diferentes mecanismos de deterioro causados por un mal funcionamiento de la pasta, los agregados y el acero.

Normalmente el ataque a la superficie del concreto es un proceso de deterioro extremadamente lento. En la mayoría de los casos los agentes agresivos deben de penetrar el concreto para causar un daño significativo.

La permeabilidad, la difusividad y la absorción son los mecanismos de transporte que permiten tal penetración. La permeabilidad es el movimiento de gases o líquidos a través de un medio poroso debido a una carga de presión. La difusividad es la transferencia de masa por el movimiento aleatorio de moléculas libres o iones en la solución poro debido a un gradiente de concentración. La absorción es el transporte de líquidos en sólidos porosos debido a la tensión de superficie que actúa en los capilares.

El parámetro individual que tiene mayor influencia sobre la durabilidad es la relación agua/cemento (una baja relación agua/ cemento puede causar una permeabilidad reducida y una mayor dureza)

La permeabilidad puede disminuirse con materiales de cementación suplementarios, o preparados químicos. La permeabilidad aumentará mediante una consolidación imperfecta, una segregación excesiva, un purgado excesivo, o ciclos de secado durante el fraguado. El factor más importante que causa un aumento en la permeabilidad es el agrietamiento del concreto.

El tubo de concreto reforzado es una estructura compuesta y especialmente diseñada para hacer uso de las mejores cualidades tanto del concreto como del refuerzo. El concreto está diseñado para la fuerza compresiva y el refuerzo para la fuerza tensora. A menos que el concreto se agriete, el refuerzo no se está utilizando a su capacidad de diseño. Mientras más fuerzas tensoras son llevadas por el refuerzo, se hacen visibles las grietas finas, pero estas ocurren con cargas muy por debajo de la carga diseñada del miembro del refuerzo. Las

grietas finas no son una indicación de peligro, deformación, o pérdida de la integridad estructural. El tubo de concreto generalmente está diseñado para llevar cargas dentro de la capacidad de carga proyectada de la tubería, y las grietas finas no ocurren. Si las grietas finas se presentan, estas tienden a sellarse por sí mismas a través de un proceso conocido como reparación autógena. La reparación autógena es la habilidad del concreto para repararse a sí mismo bajo la presencia de humedad. El tubo de concreto reforzado, a diferencia de las vigas y losas de concreto reforzado, es enterrado en donde están presentes las condiciones de humedad para que se realice la reparación autógena. La corrosión del refuerzo involucra un mecanismo de ataque electroquímico en el acero de refuerzo lo cual resulta en un aumento del volumen, induciendo por consiguiente un esfuerzo de tensión en el concreto. El concreto estructural requiere de un refuerzo de acero para llevar el esfuerzo de tensión aplicado. El concreto es normalmente capaz de proporcionar una excelente protección al acero y evita que se corra. Esta protección es tanto química como física por naturaleza. Físicamente el concreto restringe el ingreso de los componentes básicos requeridos para iniciar la corrosión (el agua, el oxígeno y cloruros) Químicamente, la solución poro en el concreto normalmente tiene un pH muy alto, lo cual lleva a la formación de una película protectora de óxido de hierro alrededor del refuerzo de acero. Las principales razones físicas de la falta o pérdida de protección del concreto son que no cubre el refuerzo lo suficiente, la presencia de alta permeabilidad en el concreto, una deficiencia para proteger al concreto de fuentes de cloruro, y un daño del concreto (agrietamiento, el resquebrajamiento, la descamación) Las principales razones químicas incluyen la penetración de cloruros en el concreto, la destrucción de la capa de pasivación cuando el contenido de iones de cloruro alcanza 0.2 a 0.4 por ciento en la región adyacente

al acero. Adicionalmente, la carbonatación del concreto lleva a una reducción en el pH, y luego ocurre la depasivación conforme el pH se aproxima a 11.

4

El ataque de los sulfatos sobre el concreto es una reacción química entre una fuente externa de iones de sulfato y ciertos componentes de empaque hexagonal cercano (hcp) al nivel molecular.

La detección del ataque de sulfatos es muy difícil debido a su naturaleza interna y mínima cantidad de daño visual. A pesar de que altos niveles de sulfato están presentes en el agua de mar, el ataque de sulfatos se mitiga a cierto grado. El hidróxido de magnesio químicamente protege en contra del ataque de sulfatos, y el yeso y la ettringita son más solubles en soluciones que contienen iones de cloruro.

La Formación Retardada de Ettringita (DEF) ocurre cuando el fraguado a temperaturas elevadas destruye la ettringita, con el sulfato y el aluminato siendo absorbidos por el hidrato de silicato de calcio. Después de enfriarse, el sulfato está de nuevo disponible para formar ettringita, lo que resulta en la expansión y agrietamiento. Esto sólo ocurre con químicas ciertos elementos y cuando la humedad está fácilmente disponible. Esto no se presenta en la producción del tubo de concreto premoldeado.

El ataque de ácido es una reacción química entre una fuente externa de líquido ácido y en algunos casos agregados. El ataque normalmente se limita únicamente a la superficie del concreto, y podría avanzar hacia el interior. La disolución de los compuestos solubles en el ácido dado prácticamente se lleva a cabo instantáneamente. En la mayoría de los casos, esta reacción forma sales insolubles de calcio que se forma y protege el concreto de un ataque adicional.

El daño por congelación / descongelación al concreto es inducido por esfuerzos internos de tensión que son un resultado directo de ciclos repetitivos de congelación y descongelación. El daño por congelación / descongelación ocurre mediante el desgaste – un ciclo causa muy poco daño. Deben de transcurrir muchos ciclos antes de que el daño se acumule a niveles significativos. Algunos de los factores que contribuyen incluyen la expansión del agua en el congelamiento (cuando el volumen aumenta un 9%), y la presión hidráulica. El congelamiento del agua en el concreto comienza en las cavidades más grandes y sigue sucesivamente a las más pequeñas. Esto produce una presión hidrostática conforme la expansión obliga al agua que no está congelada a moverse adelante del frente congelado. La magnitud de la presión hidrostática es una función de la permeabilidad del concreto, la distancia al límite vacío, y la velocidad de congelamiento. El desgaste de la superficie es la pérdida progresiva de masa de una superficie de concreto debida a ciclos repetitivos de desgaste. La abrasión es el desgaste en seco conforme otro objeto sólido se mueve o frota contra la superficie del concreto. La erosión es el desgaste de la superficie causado por la acción abrasiva de partículas sólidas suspendidas en los fluidos. Puede ocurrir en el revestimiento de los canales, derramaderos y tubos para el transporte de agua o aguas residuales. La cavitación es la pérdida de masa causada por la formación de burbujas de vapor y su subsiguiente colapso debido a cambios bruscos de dirección en al agua que fluye rápidamente.

La reacción álcali-agregado es una reacción química entre los álcalis solubles en el hcp y ciertas formas de sílice que se halla en algunos agregados. El tiempo transcurrido entre el colado del concreto y la aparición del daño puede variar significativamente, dependiendo del tipo de agregado involucrado.

Las propiedades del concreto que influyen en el rendimiento

5

Existen ciertas propiedades del concreto que influyen sobre el rendimiento. Estas propiedades incluyen la resistencia compresiva del concreto, la densidad, la absorción, la proporción agua / cemento, tipo y contenido cementoso, y el agregado.

**Las resistencias compresivas** para el tubo de concreto normalmente varían de 4,000 psi a 8,000 psi. Es una función de muchos factores entre los que se incluyen, el agregado, el material cementoso, la fabricación, el proceso de curado y el diseño de la mezcla. La mayoría de las resistencias proyectadas del concreto se refieren a resistencias compresivas de 28 días. Es común que las pruebas de 28 días excedan substancialmente las resistencias especificadas proyectadas.

Las **densidades** del tubo de concreto de calidad típicamente oscilan entre las 145-155 libras por pie cúbico. Normalmente mientras más alta la densidad, mayor es la “durabilidad” del concreto.

La **absorción** se utiliza principalmente para verificar la densidad y la impenetrabilidad del concreto. Al igual que con la resistencia compresiva, la absorción puede ser altamente influenciada tanto por el agregado como por el proceso de manufactura empleado. La ASTM C 76 especifica un máximo de absorción permisible de 8.5 por ciento o 9 por ciento, dependiendo del método de prueba utilizado, para el tubo de concreto.

Las bajas **proporciones de agua /cemento (W/C)** son uno de los sellos del tubo de concreto de calidad con su correspondiente alta resistencia compresiva como función de la baja proporción W/C. El tubo de concreto típico premoldeado tiene una proporción W/C que oscila de 0.33 a 0.45 con un 0.53 siendo el máximo permitido por la ASTM C 76. El

tubo de concreto seco que utiliza concreto seco permite un desmonte inmediato de las formas. El tubo muy seco de concreto premoldeado que no emplea concreto seco tiene una proporción W/C de 0.20 que resulta en una resistencia compresiva de 5000+ libras por pulgada cuadrada psi.

El contenido **cementoso** que siempre ha sido un tema de preocupación con los ingenieros y fabricantes incluye cemento y cenizas finas. La clave para un contenido cementoso apropiado viene a ser el diseño apropiado de la mezcla, considerando las todas las propiedades del material, y los procesos de fabricación y de curado. Todos los tipos de cemento se han empleado en la fabricación del tubo de concreto pero generalmente el cemento del Tipo II es el que se utiliza. El típico contenido cementoso mínimo permitido por la ASTM C76 es 5 sacos (470 libras) por yarda cúbica de concreto.

El agregado del tubo de concreto, tanto fino como grueso, cumplen con los requisitos de la ASTM C 33 exceptuando la gradación.. Tanto el agregado natural como el fabricado es adecuado para emplearse con el tubo de concreto. El agregado es un elemento clave para producir un concreto de calidad y a su vez, un tubo de calidad. Respecto a la resistencia, la durabilidad y el rendimiento, se deberán considerar todos los aspectos del agregado. Estos incluyen gradación, absorción, gravedad específica, dureza y en algunos casos alcalinidad.

Existen muchos factores que influyen en la durabilidad y rendimiento de las estructuras de concreto reforzado que son bien comprendidas y controladas para producir excelentes estructuras. El tubo de concreto reforzado dura por varias generaciones cuando este es diseñado adecuadamente para su uso y ambiente proyectado, producido mediante un buen control de calidad, instalado con pericia, y curado completa y apropiadamente. Cuando los ingenieros de diseño y aquellos que establecen las especificaciones

entienden las propiedades del concreto y todos los factores que afectan el rendimiento de las estructuras de concreto reforzado, la durabilidad del tubo de concreto reforzado se torna significativa. Sólo entonces se puede tomar una buena decisión respecto a igualar la vida útil de los productos con la vida proyectada de las estructuras.

#### Referencias:

- 1.) Temas de Durabilidad del Tubo de Concreto, presentación en el curso de verano en ACPA por el Dr. Andrew J. Boyd del Departamento de Ingeniería Civil y Costera, Universidad de Florida, Noviembre 9, 2004.
- 2.) La Durabilidad del Tubo de Concreto Prevaciado, CP Info No. 02-710, publicación por parte de la ACPA, Septiembre, 1991.
- 3.) Lo elemental del cemento y del concreto, en [www.cement.org/basics](http://www.cement.org/basics), Portland Cement Association, Diciembre, 2004.
- 4.) Las propiedades del Tubo de Concreto, Info Brief No. 1010, en [www.rinker.com/hydroconduit/techlibrary/hs\\_briefs.htm](http://www.rinker.com/hydroconduit/techlibrary/hs_briefs.htm), Materiales Rinker, Hidroconducto, Marzo 1996.

El tubo de concreto es una excelente elección con base al rendimiento del producto y del material.

El tubo de concreto tiene una historia de excelente rendimiento como un producto durable para tuberías de alcantarillado sanitario y transporte de aguas pluviales. El reto es saber y entender las condiciones ambientales y de servicio a las que la alcantarilla sanitaria o pluvial estaría sujeta, antes de ser diseñada y especificada.

Los alcantarillados de concreto siguen ofreciendo un buen servicio, en un momento en el que la mayor parte de las tuberías subterráneas han alcanzado el final de sus vidas útiles proyectadas.. Los alcantarillados de tubo de concreto sanitarios y pluviales (mucho de ellos producidos e instalados a finales de los 1800s), continúan funcionando bien mientras que se encuentran disponibles los fondos para su reemplazo y mejora con nuevos tubos diseñado para durar cuando menos 100 años.

Durante la etapa de planeación y diseño de un alcantarillado sanitario, se debe de determinar los perfiles bioquímicos potenciales del sistema junto con los niveles actuales de evolución de ácidos, y niveles proyectados de la vida útil del alcantarillado. Una vez determinado lo anterior, se puede proteger el tubo con un revestimiento. También se puede producir el tubo con un aumento en la alcalinidad total empleando un agregado calcáreo. También es común incrementar la cubierta de concreto sobre el refuerzo (armazón) conocido como concreto perdido, la tasa de deterioro del sistema puede igualarse a la vida diseñada del proyecto

En dónde se anticipa un efluente ácido, los diseñadores necesitan determinar el pH, incluyendo las variaciones cíclicas, así como las características del flujo continuo o intermitente. El pH y la acidez total para la vida diseñada del sistema son críticos. Además, los diseñadores deberán determinar el potencial de desarrollo de ácido sulfúrico debido a los cambios potenciales al ambiente en la atmósfera interior del alcantarillado. Cuando se esperan ambientes altamente corrosivos, se deberá considerar tubo de concreto y registros revestidos para las porciones del alcantarillado que se espera sean afectadas.

Actualmente existe la tecnología para hacer que el tubo de concreto sea más confiable que nunca antes. Muchas décadas de investigación y desarrollo de los muchos aspectos del tubo de concreto han permitido a los productores de tubo de concreto cambiar las mezclas de

concreto y diseños del tubo con la finalidad de ofrecer productos que puedan resistir una amplia gama de ambientes subterráneos y perfiles de efluente. Nuestra economía, valor social y las amenazas internacionales a la forma de vida Americana, han puesto la aplicación del tubo de concreto bajo una nueva luz.

7

El crecimiento económico ha tomado un nuevo significado debido a GASB 34, que radicalmente ha cambiado la forma en que los gobiernos estatales y municipales deben reportar sus finanzas. Los gobiernos deben evaluar la condición de la totalidad de los bienes de infraestructura principales cada tres años. El proyecto 19-04 del programa de Investigación de caminos de la Cooperativa Nacional declara que “La forma en que los DOTs estatales responden al GASB 34 puede tener un impacto significativo en los costos del estado del préstamo público. Los costos a largo plazo de los programas de infraestructura, y la proporción de los fondos dedicados a la construcción contra la conservación.”

Los beneficios económicos de aplicar un enfoque de administración de los bienes a la infraestructura pública fortalecen la elección del tubo de concreto para los sistemas sustentables de alcantarillado sanitario. Un alcantarillado sanitario construido en la actualidad con tubo de concreto reforzado de bajo (RCP) durará hasta el año 2100, si el sistema se planea y se diseña para 100 años con amplio conocimiento de las características existentes y futuras de carga y efluente. Cuando los proyectos se diseñan con los costos del ciclo de vida en mente, el tubo de concreto se convierte en un producto que realmente cumple con el concepto general de sustentabilidad al satisfacer las necesidades de la generación presente, sin comprometer las necesidades de futuras generaciones.

La instalación estándar por si misma ha demostrado reducir los costos de instalación de los proyectos de construcción de manera significativa. Para los alcantarillados que se espera que duren 100 años o más, o hay duda de que un alcantarillado sanitario de tubo de concreto alcanzará la meta y seguirá funcionando durante muchos años más. Tiene sentido pensar que el tubo de concreto se pueda reconsiderar en algunos estados con la finalidad de mejorar los bienes de infraestructura, y consolidar al tubo de concreto como tecnología del siglo 21 en los estados que ya utilizan al concreto en sus sistemas principales de alcantarillado sanitario. Con base en su durabilidad y rendimiento, el tubo de concreto es la elección de confianza para el alcantarillado sanitario y pluvial.

### **Los atributos del tubo de concreto.**

Los principales atributos del tubo de concreto aplican a alcantarillados sanitarios y pluviales y alcantarillas. Muchos atributos también podrían aplicarse a secciones en caja utilizados para el drenaje pluvial, alcantarillas en caminos, túneles, puentes, y sistemas de detención subterránea. El tubo de concreto y las secciones de caja acomodan altos volúmenes de efluente en una espacio pequeño.

Se sabe que el tubo de concreto es un tubo rígido que ofrece tanto una estructura y un conducto al colocarse en el sitio. Los sistemas de drenaje de tubo flexible incluyendo al polietileno de alta densidad y al cloruro de polivinilo (PVC) únicamente proporcionan un conducto. El relleno se debe aplicar y diseñar apropiadamente con la finalidad de proporcionar una estructura. Se requiere generalmente de relleno importado para los sistemas de tubo flexible.

Generalmente se reconoce al tubo de concreto por su calidad de fabricación, su resistencia consistente, la disponibilidad de diseños y tamaños para servir la mayor parte de las instalaciones, por ser amigable para el contratista, y competitivo con estructuras de concreto coladas en sitio y tubo flexible bajo varias circunstancias.

El tubo de concreto producido a principios del siglo 21 es consecuencia de:

- o Diseño asistido por computadora
- o Diseño avanzado de las mezclas de concreto
- o Lotes automatizados y controlados por computadora
- o Refuerzo de varilla fabricada con precisión
- o Técnicas de manufactura con calidad
- o Uniones herméticas mejoradas
- o Nuevas normas de instalación

Las secciones de caja de concreto prevaciado también tienen ventajas similares a las del tubo de concreto:

- o Mejor control de calidad que para los productos de tubo flexible.
- o Facilidad de instalación
- o Se reducen los peligros asociados con zanjas abiertas
- o Impacto ambiental menor
- o El tiempo de desviación se reduce
- o El tiempo de diseño se reduce
- o Está disponible la entrega justo a tiempo de la planta del fabricante para ajustarse tanto a sitios de poca construcción como a programas de mucha construcción.

- La gente familiarizada con los procedimientos de instalación de tubo de concreto puede instalar las secciones de caja con tan sólo un mínimo de entrenamiento.

### **Resistencia Inherente**

El tubo de concreto es un sistema de tubo rígido que depende aproximadamente un 85% de la resistencia del tubo y sólo un 15% de la resistencia derivada de la envoltura de suelo. La resistencia inherente del tubo de concreto compensa:

- Las fallas de la construcción
- Mayores alturas de relleno y profundidad de zanja.

El tubo de concreto es menos susceptible a daños durante la construcción, y mantiene su forma, al no desviarse como el tubo flexible. El tubo flexible se debe desviar para alcanzar su rendimiento máximo ya instalado. El tubo flexible depende cuando menos un 95% del soporte de suelo y la experiencia de instalación por parte del contratista. Este es el factor individual más crítico para el uso del tubo flexible. La gente que elabora las especificaciones de los productos de tubo flexible debe de considerar la teoría de diseño en equilibrio con la practicidad de instalar los productos para cada aplicación. Para el tubo de concreto en comparación, existe para escoger una variedad ilimitada de resistencias de tubo, y la resistencia se demuestra previo a la instalación.

Al especificar el uso del tubo de concreto:

- El diseñador tiene mas control sobre la resistencia del tubo que cualquier otra faceta del proyecto.
- Hay una menor dependencia sobre la calidad de la instalación por parte del contratista.

- o Hay menor costo del material de encamado
- o Se requiere menos compactación
- o El nivel y la alineación son más fáciles de mantener.
- o No hay mucha preocupación de desviación excesiva.
- o El costo del ciclo de vida del proyecto es menor.
- o Hay un menor costo de mantenimiento en la vida diseñada del proyecto.
- o Hay menor probabilidad de fallas.
- o Hay un menor riesgo para la gente que elabora las especificaciones, para el diseñador y el dueño del proyecto, y una responsabilidad total menor después de que el proyecto se ha adjudicado.

9

La resistencia del tubo de concreto está estandarizada por la ASTM C76 y la AASHTO M170. Se prueba la resistencia del tubo en la planta utilizando normas D-Load. La resistencia de soporte de un tubo se determina bajo condiciones de la prueba de apoyo de tres bordes. La D-load, expresada en libras por pie lineal por pie de diámetro interior o extensión horizontal, prueba el tubo bajo condiciones severas de carga en donde no existe lecho, ni soporte lateral, bajo cargas en tres puntos.

ASTM C76 (la norma para cuatro clases de tubo de concreto reforzado)

\_ Clase I, II, III, IV, V

\_ Clase III 1,350 lb/ft/ft

\_ Clase IV 2,000 lb/ft/ft

\_ Clase V 3,000 lb/ft/ft

\_ Las uniones con empaque se prueban a 13 psi

### **El tubo de concreto no es inflamable**

A diferencia de los conductos termoplásticos, el tubo de concreto no es inflamable. Esto es importante para la planeación de tubos de cruce en los caminos y carreteras en las áreas urbanas y ubicaciones remotas que están densamente reforestadas. Los incendios en las alcantarillas y en los pasos de agua están bien documentados, demostrando que

11

el tubo de concreto es una elección inteligente para la seguridad del sitio de construcción, para la seguridad pública (peligro de fuego y vapores tóxicos)

Los conductos termoplásticos son también sensibles a las temperaturas extremas que podrían causar separación de las uniones, un impacto en la rigidez de las paredes y deformaciones en el corrugado de algunos productos termoplásticos.

### **La instalación es más sencilla y con un menor costo con el tubo de concreto.**

La instalación estándar es un término para una nueva tecnología empleada para los lechos del tubo de concreto prevaciado. El diseño de la pared del tubo – su grosor y cantidad de refuerzo – se basa en los esfuerzos y deformaciones del tubo. Este enfoque es más preciso y puede resultar en tubos que requieren menos material. Además, el enfoque de instalación estándar permite una mayor elección de materiales de relleno, de material granular a arcilla, y se requiere menos compactación del relleno.

La instalación estándar se adoptó por la Asociación Americana de Ingenieros Civiles (ASCE) como la especificación 15-93- *Práctica estándar para el diseño directo de tubo de concreto prevaciado subterráneo utilizando Instalación estándar*. Fue adoptada

posteriormente en la edición de 1996 (16) de la *Especificación Estándar para puentes carreteros, sección 17, sistemas de interacción de estructura de concreto reforzados con tierra* de la Asociación Americana de Agentes de Transporte y Caminos (AASHTO)

La instalación estándar ofrece varios beneficios al utilizar el tubo de concreto:

- o Flexibilidad para cumplir con los requisitos del diseño y las condiciones de sitio.
- o Permite límites de excavación más restringidos.
- o Se pueden emplear materiales de relleno más económicos.
- o Puede reducir el nivel de compactación.
- o Aumenta la productividad del contratista al instalar tubo de concreto reforzado.

Existe una selección de Tipos de Instalaciones Estándar que ofrecen la versatilidad para adaptarse a las condiciones de campo:

- o Tipo 1: La instalación de mayor calidad que utiliza suelo granulado seleccionado con altos requisitos de compactación para soporte lateral y lecho.
- o Tipo 2: Permite suelos granulares azolvados con una menor compactación requerida para el soporte lateral y el lecho.
- o Tipo 3: Permite el uso de suelos con requisitos menos estrictos de compactación para el soporte lateral y el lecho.

- o Tipo 4: Permite el uso del material natural del sitio para soporte lateral y el lecho sin que se requiera de compactación. (se requieren 6 pulgadas de lecho en caso de que exista cimientado de roca)

La corta longitud del tubo de concreto hace más fácil trabajar con los servicios municipales existentes. Las instalaciones de tubo de concreto que requieren de cajas de zanja no requieren de atención especial para deslizar la caja de zanja y alterar el lecho y el relleno en el proceso, lo cual se recomienda por las normas de instalación y los fabricantes. Empleando la longitud estándar del tubo de concreto, se puede verificar frecuentemente la exactitud de la traza y el nivel.

12

### ***El tubo de concreto no se desvía ni se deforma***

Cómo tubo rígido, el tubo de concreto posee una alta resistencia de viga y puede colocarse al nivel apropiado.

Solo el tubo de concreto puede tenderse sobre un lecho desigual sin afectar la hidráulica del tubo. El tubo flexible posee una baja rigidez de viga y se desvía a falta de un lecho uniforme, causando un esfuerzo a lo largo del eje del tubo.

La prueba de deflexión del tubo flexible es crítica para medir el esfuerzo (la deformación) y cualquier deflexión circunferencial. La deflexión permitida del tubo flexible es de 3% inicial y 5% a largo plazo. La prueba de deflexión no deberá concluir o ser llevada a cabo al terminar el relleno. Aquellos problemas de instalación que no están relacionados con el tubo de concreto pero que podrían asociarse con el tubo flexible son la deflexión, deformaciones, deformación o aplastamiento de paredes y pandeo.

Cuando ocurren fallas de instalación o de fabricación con el tubo flexible, frecuentemente se presenta una reducida capacidad hidráulica del sistema de drenaje y existen uniones con fuga. La prueba de flexibilidad del tubo flexible es obligatoria en muchas jurisdicciones.

### ***Una hidráulica superior del tubo de concreto***

La capacidad hidráulica (la cantidad de agua que puede transportar el tubo) depende de la uniformidad (liso) de la pared interior del tubo. Mientras más lisa la pared, mayor será la capacidad hidráulica del tubo. La uniformidad de la pared se representa con el coeficiente de rugosidad de Manning comúnmente llamado la “n” de Manning. Mientras menor sea el valor de la “n” de Manning, mayor el volumen de agua que fluye por el tubo.

El análisis hidráulico de los sistemas de drenaje involucra la estimación del coeficiente de flujo diseñado con base a las características climatológicas y de la cuenca hidrológica. El diseño hidráulico de un sistema de drenaje siempre incluye una evaluación económica. En el sitio se presentará, durante la vida proyectada, un amplio espectro de torrentes de inundación con probabilidades asociadas. Los beneficios de construir un sistema de amplia capacidad que se adapte a la totalidad de los eventos de tormenta sin efectos perjudiciales de inundación son normalmente excedidos por los costos iniciales de construcción. Se realiza un análisis económico de la compensación de costos a varios niveles de esfuerzo y detalle. El análisis de riesgo equilibra el costo del sistema de drenaje con los daños asociados con un rendimiento inadecuado. Con el tubo de concreto no existe riesgo. Con su larga vida útil y su eficiencia hidráulica, el tubo de concreto cuenta con la capacidad para cumplir con los requisitos del diseño hidráulico del sistema.

Se citan dos valores básicos al tratar con el coeficiente de rugosidad de un tubo; los valores de prueba de laboratorio y los valores de diseño. La diferencia entre los valores de prueba de laboratorio de la “n” de Manning y los valores aceptados de diseño es importante. Los valores “n” de Manning se obtuvieron utilizando agua limpia, uniones lisas, sin carga, y

extensiones rectas de tubo sin codos, pozos de inspección, sin residuos ni otro tipo de obstrucción.

Los resultados de laboratorio solo indican las diferencias entre los tubos de pared lisa y los tubos de pared rugosa. Los tubos de pared rugosa, tales como el tubo de metal corrugado tienen valores de “n” relativamente altos, que aproximadamente son de 2.5 a 3 veces mayores que los del tubo de pared lisa.

Se encontró que los tubos de pared lisa tienen valores de “n” que fluctúan entre 0.009 y 0.010, pero históricamente, los ingenieros familiarizados con los tubos de concreto y alcantarillado han utilizado 0.012 o 0.013.

13

Este factor de diseño de 20 a 30 por ciento toma en cuenta las diferencias entre las pruebas de laboratorio y las condiciones reales de instalación de varios tamaños y permite asimismo un factor de seguridad. El uso de tales factores de diseño es una buena práctica de ingeniería, y para ser consistente para todos los materiales de tubo, el valor de laboratorio aplicable de “n” de Manning deberá incrementarse en una cantidad similar con la finalidad de llegar a valores de diseño comparativos.

Se ha concluido por medio de la investigación que los diseños que utilizan el tubo de concreto pueden reducirse cuando menos un tamaño en la mayoría de los casos cuando se compara con los tubos de acero, aluminio, y corrugado HDPE revestido.

Para que los ingenieros de diseño y los propietarios seleccionen el tubo de drenaje apropiado para una aplicación específica de paso de agua o alcantarillado, es críticamente importante que los valores aplicados de “n” de Manning sean los valores de diseño en vez de los valores de laboratorio.

Empleando los valores de diseño, el tubo de concreto posee características hidráulicas superiores, y los ingenieros entienden y cuentan con tal verificación de la hidráulica del tubo de concreto. El nivel y la alineación son tan importantes como las características de superficie del barril. Adicionalmente, los controles de admisión (entrada) y descarga

(salida) impactan la hidráulica de un sistema de drenaje. El flujo de agua en el tubo es estrangulado o limitado por la entrada del tubo. El tubo puede tener un cabezal, puede ser de boca ancha, o tubo saliente. Esta condición existe en la mayoría de los drenajes de cruce, y es típico en las subdivisiones y los cruces de caminos. El control a la salida ocurre cuando el flujo de agua a través del tubo se controla por las condiciones en la salida del tubo. El control de salida normalmente no existe a menos que la descarga del tubo se encuentre bajo el agua o si el orificio se ha dañado y existe alguna restricción.. Las salidas del tubo flexible se dañan fácilmente y por lo tanto esto afecta la hidráulica de la tubería. El tubo de concreto cuenta con una mayor capacidad que el tubo flexible para trasportar las aguas pluviales en muchas instalaciones.

### **El Valor de recuperación del tubo de concreto.**

Las tuberías y particularmente los pasos de agua, frecuentemente se utilizan en aplicaciones temporales para facilitar el drenaje durante la construcción. Mientras los diseñadores seguido tratan de minimizar el costo de estas instalaciones, uno de los elementos que se pasa por alto es el valor de recuperación del tubo.

El valor de recuperación del tubo está muy relacionado a su resistencia inherente y a su habilidad para resistir los abusos de la instalación y extracción. Los tubos flexibles muestran un desgaste considerable al ser removidos después de una instalación temporal.

La difícil labor de desenterrar un paso de agua subterráneo se complica al emplear equipo pesado para hacer el trabajo. La naturaleza rígida del tubo de concreto es ideal para realizar la extracción y el reemplazo. El tubo de concreto puede tolerar el abuso que se espera en el trabajo de extracción. En términos del costo de ciclo de vida, es prudente considerar el valor de recuperación del tubo cuando se planea una línea temporal de drenaje.

Los beneficios de recuperar el tubo de concreto no terminan en el sitio de construcción. Existen proyectos en donde el tubo de concreto se ha excavado en áreas industriales después de décadas de uso, se ha limpiado y se ha vuelto a instalar para continuar funcionando como un tubo de alcantarillado pluvial. El tubo se examinó en el laboratorio.

14

Se encontró que era más fuerte que lo que se examinó originalmente, ya que el concreto se hace más fuerte con el tiempo.

### **Control de calidad y pruebas del tubo de concreto.**

La Asociación Americana de Tubo de Concreto ofrece un programa de aseguramiento de la calidad continuo denominado el Programa de Certificación de Planta “Vaciado de Calidad”, este programa de inspección auditoria de 124 puntos cubre la inspección de los materiales, el producto terminado, y los procedimientos de manejo y almacenamiento, así como las pruebas de rendimiento y los documentos de control de calidad. Las plantas se certifican para suministrar alcantarillado pluvial o tubo de paso de agua o bajo un programa combinado de alcantarillado sanitario, pluvial y tubo de paso de agua.

En la inspección de la planta se incluyen:

- o Pruebas D-load
  - Rupturas de cilindros
- o Hidropruebas (prueba de unión desfasada bajo presión)
- o Pruebas de vacío o pruebas de aire.
  - Pruebas de desviación de las juntas
- o Verificación dimensional de la espiga.
- o Certificación o documentos requeridos para cada entrega de cemento, cenizas finas, acero.
- o Pruebas de congelamiento / descongelación dependiendo de la geografía.
- o La certificación de los agregados se requiere mensualmente.

- o Certificación requerida de los empaques por parte del proveedor. Los empaques también se verifican en la planta de acuerdo a las normas.
- o Micromedición de anillos anualmente.
- o Todo el equipo de prueba y peso se calibra y se certifica anualmente.

Durante los últimos 10 años se han mejorado las operaciones de lote y mezcla en las mejores plantas. Las características de esta operación del proceso de producción del tubo normalmente incluyen:

- o Sistemas de pesado y proporciones controlados por computadora.
- o Sistemas de mezclado controlados por computadora.
- o Sistemas de registro automático.
- o Pruebas de absorción.

### ***El costo del tubo de concreto***

Un análisis del menor costo es un método efectivo para evaluar 2 materiales alternativos con diferentes vidas de servicio o equivalencia económica. Los factores que afectan el análisis tradicional con la vida diseñada del proyecto, la vida del material, primer costo, la tasa de interés, la tasa de inflación, los costos de reemplazo, y el valor residual. El primer costo es importante para el ingeniero y el propietario, pero no revela el costo completo de la tubería. Un análisis del menor costo deberá también considerar los costos al público y a los negocios debido a las desviaciones y reemplazo de fallas catastróficas potenciales.

Los productos de tubo flexible tienen menor precio comercial, pero no son tan rentables como los tubos de concreto. El tubo flexible tiene una menor vida de servicio, y requiere de lecho y relleno de buena calidad, y los procedimientos de instalación tienen que ser

precisos para que el relleno y el lecho tomen las características estructurales requeridas, es crítica para el rendimiento -durante y después de la instalación- la inspección de los sistemas de tubo flexible y la prueba de flexibilidad es obligatoria en muchas jurisdicciones. En general, el costo real del tubo flexible (instalación, mantenimiento y reemplazo) es el doble que el del concreto considerando un periodo de vida de servicio de 50 años o más. Cuando los productos flexibles se detallan y se especifican correctamente, ¡el tubo de concreto reforzado puede competir favorablemente a igual o menor costo!

El tubo de concreto no tendrá que ser reemplazado antes de alcanzar la vida de diseño de un proyecto. El tubo de concreto es el producto de drenaje más resistente disponible, el más eficiente hidráulicamente, y el que cuenta con un alto valor actual y futuro como un bien de infraestructura.

### ***El tubo de concreto es un material y un producto benigno para el ambiente***

La opción de construir drenajes, pasos de agua e instalaciones especiales para manejo pluvial con concreto prevaciado es una opción inteligente. Los productos de drenaje de concreto prevaciado son durables y se pueden instalar rápidamente. No se incendiarán, no se corroerán prematuramente, no se desviarán o moverán fuera de nivel disminuyendo el rendimiento hidráulico, ni se colapsarán bajo cargas diseñadas para la estructura del tubo. Comprendido entre los materiales de construcción más comúnmente utilizados en el mundo, la infraestructura de concreto prevaciado se integra rápidamente en los ecosistemas. Lo anterior se demuestra claramente por el uso de las cajas prevaciadas de tres lados que se emplean para acomodar los canales naturales de las corrientes en el cruce de caminos, y el uso de tubo de concreto prevaciado para drenajes pluviales y desembocaduras en valles y en las costas.

ASTM C14 (para tubo de concreto reforzado)

\_ Clase 1, 2, 3

\_ D/Load expresada en lb/pie lineal

Carga diseñada (usada para determinar la resistencia del tubo para las instalaciones que se encuentran debajo de carreteras transitadas)

\_ AASHTO HS20 (Norma para carga de vehículos sobre los tubos)

- o 16,000 lbs carga axial
- o 10" x 20" Tire Footprint
- o 0 - 30% Carga de impacto
- o Distribuido 1.75H

El refuerzo de varilla en el tubo de concreto aumenta significativamente su resistencia inherente. El refuerzo de varilla moldeado como armazón es una malla fabricada con precisión con soldadoras de armazón automáticas. Las máquinas de armazón fabrican campanas, son estables dimensionalmente hablando, y tienen tolerancias proyectadas justas. El tubo de concreto reforzado posee una capacidad mayor de carga.

### **Las uniones del tubo de concreto**

El tubo de concreto ofrece una variedad de uniones desde las herméticas para suelo como a presión. No les afecta el tipo de relleno empleado para la instalación. El rendimiento de la unión debe demostrarse en la planta previamente a la instalación, y la integridad de la unión se puede examinar de varias maneras. Con el tubo de concreto, la desviación no pone en riesgo la capacidad de prueba de campo de las uniones. La rigidez transversal del tubo de concreto hace que el ensamble de las uniones sea una operación simple. La integridad de la

unión rígida minimizará la posibilidad de la intrusión del encamado y el hundimiento del relleno, normalmente denominado como infiltración.

Las uniones RCP soportan una columna hidrostática interna mínima de 13 psi igual a 30 pies de agua. (ASTM C 443)

Los tipos de uniones en los tubos de concreto incluyen:

- o Empaques O-Ring.

10

- o Empaques de perfil

- o Unión mortero.

Los empaques O-Ring se emplean en RCP sanitarios y algunos pluviales producidos con una unión de espiga O-ring. Estas juntas se producen bajo la ASTM denominación C 443-94.

Los empaques de perfil se emplean en alcantarillas pluviales y en alcantarillado sanitario y pluvial RCP. El tubo se produce con una única unión de espiga desfasada conforme a ASTM denominación C 443-94

Las uniones mortero se emplean para las alcantarillas pluviales, alcantarillas, y tubo de concreto elíptico horizontal reforzado. Se aplica mortero a la mitad inferior del extremo de la campana. Se aplican selladores Butyl y de pasta en el extremo de la espiga o campana del tubo conforme a ASTM denominación C 990-96

En algunas aplicaciones, una unión mortero puede ser una envoltura externa aplicada a la superficie externa de la unión. Estas se aplican conforme a ASTM C 900-96.

## **La masa del tubo de concreto**

En un ambiente bajo o pantanoso, la flotabilidad de la tubería subterránea depende de la masa del material del tubo, el peso del volumen de agua desplazada por el tubo, el peso de la carga de líquido llevada por el tubo, y el peso del material de relleno.

Cuando sea que el nivel hidrostático esta arriba del inverso de la tubería, existe el potencial de flotabilidad. Aunque se desagua la zanja para instalar el tubo en un área pantanosa, el área de la zanja aguas abajo (después del relleno inicial) puede saturarse.

Esto podría causar un efecto de flotación en el tubo. La masa del tubo de concreto normalmente contrarresta esta fuerza de flotabilidad. Los materiales alternos tales como el tubo termoplástico y el tubo de metal corrugado podrían levantarse verticalmente o serpentear horizontalmente en condiciones de terrenos húmedos.

Durante la operación de relleno, el relleno se podría acumular más en un lado del tubo que en el otro. La masa del tubo de concreto resiste fuerzas laterales, y la estructura permanece alineada conforma traza y nivel.

La masa del tubo de concreto permite:

- o Una compactación efectiva del encamado y el relleno.
- o Prevención del movimiento durante el relleno que asegura que no haya variación a partir del nivel y alineación proyectadas.
- o El movimiento de la estructura post-instalación es poco probable.
- o Se reduce la posibilidad de flotación.
- o Reduce la posibilidad de daño durante el mantenimiento o construcción subsiguiente en los proyectos en fase.