

REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO RAS - 2000

SECCION II

TÍTULO G

ASPECTOS COMPLEMENTARIOS



República de Colombia
Ministerio de Desarrollo Económico
Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico

SANTAFE DE BOGOTA D.C., NOVIEMBRE DE 2000

INDICE

G.0. REFERENCIACIÓN GENERAL	1
G.0.1 SISTEMA DE UNIDADES	1
G.0.2 VARIABLES	1
G.0.3 ABREVIATURAS	6
G.0.4 NORMAS TÉCNICAS REFERENCIADAS	6
G.0.4.1 NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS	6
G.0.4.2 NORMAS TÉCNICAS AWWA	9
G.0.4.3 NORMAS TÉCNICAS ASTM	10
G.0.4.4 NORMAS TÉCNICAS ISO (PARA REFERENCIA)	13
G.0.4.4.1 NORMAS TÉCNICAS ISO (PARA REFERENCIA)	13
G.0.4.5 NORMAS TÉCNICAS AASHTO	15
G.0.4.6 NORMAS TÉCNICAS NLT	15
G.0.4.7 NORMAS TÉCNICAS API	15
G.0.4.8 NORMAS NATIONAL SANITATION FOUNDATION (NSF)	15
G.1. ASPECTOS GENERALES	17
G.1.1 ALCANCE	17
G.1.2 DEFINICIONES	17
G.1.3 PROCEDIMIENTO GENERAL DE DISEÑO, DE CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE LOS SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO	23
G.2. ASPECTOS GEOTÉCNICOS	25
G.2.1 GENERALIDADES	25
G.2.1.1 ALCANCE	25
G.2.1.2 NOMENCLATURA DE VARIABLES	25
G.2.1.3 NORMAS TÉCNICAS REFERENCIADAS	26
G.2.1.3.1 Normas Técnicas Colombianas	26
G.2.1.3.2 Normas Técnicas ASTM	27
G.2.1.3.3 Normas Técnicas AASHTO	27
G.2.1.3.4 Normas Técnicas NLT	28
G.2.1.4 ALCANCE	28
G.2.1.5 OBLIGATORIEDAD	28
G.2.1.5.1 Firma de los estudios	28
G.2.1.5.2 Cumplimiento y responsabilidad	28
G.2.2 ESTUDIO GEOTÉCNICO	28
G.2.2.1 DEFINICIONES	28
G.2.2.1.1 Investigación del subsuelo	29
G.2.2.1.2 Análisis y recomendaciones	29

G.2.2.2 TIPOS DE ESTUDIO	29
G.2.2.2.1 Estudio geotécnico preliminar	29
G.2.2.2.2 Estudio geotécnico definitivo	29
G.2.2.2.3 Estudio de estabilidad de laderas	30
G.2.3 INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO	30
G.2.3.1 CLASIFICACIÓN DE EXCAVACIONES	30
G.2.3.1.1 Clasificación por tipo de suelo	30
G.2.3.1.2 Clasificación de las excavaciones según el grado de dificultad	30
G.2.3.1.3 Clasificación por variabilidad del subsuelo	31
G.2.3.2 INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO PARA ESTUDIOS DEFINITIVOS	31
G.2.3.2.1 Información previa	31
G.2.3.2.2 Exploración de campo	32
G.2.3.2.3 Número mínimo de sondeos	32
G.2.3.2.4 Profundidad de los sondeos	32
G.2.3.2.5 Sondeos indirectos y directos	33
G.2.3.2.6 Estudios adicionales de aguas subterráneas	33
G.2.3.2.7 Ensayos in-situ y de laboratorio	33
G.2.3.2.8 Ensayos detallados	33
G.2.3.2.9 Ensayos de resistencia para suelos	33
G.2.3.2.10 Ensayos de resistencia para materiales rocosos	34
G.2.3.2.11 Ensayos para deformabilidad	34
G.2.4 DISEÑO GEOTÉCNICO	34
G.2.4.1 CONDICIONES GENERALES	34
G.2.4.1.1 Condiciones y materiales de excavación	34
G.2.4.1.2 Estados límites	34
G.2.4.1.3 Parámetros geotécnicos de diseño	34
G.2.4.1.4 Empujes de tierra	34
G.2.4.2 SEGURIDAD ANTE FALLA	34
G.2.4.2.1 Capacidad ante falla	34
G.2.4.2.2 Factores de seguridad en la falla	36
G.2.4.3 SEGURIDAD ANTE PÉRDIDA DE CAPACIDAD DE SERVICIO	36
G.2.4.3.1 Deformaciones	36
G.2.4.3.2 Clasificación de asentamientos y límites admisibles	36
G.2.4.4 DRENAJES	37
G.2.4.4.1 Aguas subterráneas	37
G.2.4.4.2 Empujes por agua y drenajes	37
G.2.4.5 ASPECTOS RELACIONADOS	37
G.2.4.5.1 Suelos con características especiales	37
G.2.4.5.2 Defectos del terreno	37
G.2.4.5.3 Estabilidad de laderas naturales	37
G.2.4.5.4 Categorías de estabilidad de laderas naturales	37
G.2.4.6 CONSIDERACIONES SÍSMICAS	38
G.2.4.7 DISEÑO DEFINITIVO DE LA EXCAVACIÓN	38
G.2.5 RELLENOS Y COMPACTACIÓN DE ZANJAS Y TERRAPLENES	38
G.2.5.1 OBJETIVO Y ALCANCE	38
G.2.5.2 REPARACIÓN DEL FONDO DE LA ZANJA	38
G.2.5.3 RELLENO Y APISONADO DE LAS ZANJAS	39
G.2.5.4 MATERIAL DE RELLENO	39
G.2.5.4.1 Terraplenes	39
G.2.5.4.2 Relleno para estructuras y zanjas	39
G.2.5.5 CONTROL DE CALIDAD	41
G.2.6 DEMOLICIONES y DISPOSICION DE MATERIALES	41
G.2.6.1 ALCANCE	41

G.2.6.2 DEMOLICIONES	41
G.2.6.2.1 Alcance	41
G.2.6.2.2 Clasificación	41
G.2.6.3 ACARREOS	42
G.2.6.3.1 Definición	42
G.2.6.3.2 Alcance	42
G.2.6.3.3 Equipos	42
G.2.6.4 RETIRO Y DISPOSICIÓN	42
G.2.6.4.1 Definición	42
G.2.6.4.2 Alcance	43
G.2.6.4.3 Utilización de los materiales	43
G.2.7 VÍAS Y PAVIMENTOS	44
G.2.7.1 ALCANCE	44
G.2.7.2 METODOLOGÍA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS	44
G.2.7.3 ROTURA DE PAVIMENTOS	44
G.2.7.3.1 Procedimiento para el corte	44
G.2.7.4 RETIRO Y DISPOSICIÓN	44
G.2.7.5 REPARACIÓN	45
G.2.7.5.1 Materiales	45
G.2.7.5.2 Base del pavimento	45
G.2.7.5.3 Imprimación	45
G.2.7.6 AFIRMADOS	45
G.2.7.6.1 Definición	45
G.2.7.6.2 Alcance	45
G.2.7.6.3 Mejoramiento de la subrasante	45
G.2.7.6.4 Subbase granular	46
G.2.7.6.5 Base granular	46
G.2.7.7 PAVIMENTOS ASFÁLTICOS	47
G.2.7.7.1 Imprimación	47
G.2.7.7.2 Riego de liga	47
G.2.7.7.3 Concretos asfálticos	48
G.2.7.7.4 Diseño de la mezcla de concreto asfáltico	49
G.2.7.7.5 Elaboración de mezclas asfálticas	50
G.2.7.7.6 Preparación de la mezcla	50
G.2.7.7.7 Condiciones metereológicas	50
G.2.7.7.8 Preparación de la superficie	50
G.2.7.8 PAVIMENTOS CON CEMENTO PORTLAND Y ADOQUINADOS	51
G.2.7.8.1 Con cemento	51
G.2.8 OTROS	61
G.2.8.1 ALCANCE	61
G.2.8.2 ARREGLO DE ANDENES Y SARDINELES (BORDILLOS)	61
G.2.8.2.1 Objetivo y Alcance	61
G.2.8.2.2 Materiales	61
G.2.8.3 ARREGLO DE ZONAS VERDES	62
G.2.8.3.1 Objetivo y alcance	62
G.2.8.3.2 Materiales	62
G.2.8.3.3 Construcción	62
G.2.8.4 PAISAJISMO	62
G.2.8.4.1 Objetivo y alcance	62
G.2.8.4.2 Materiales	63
G.2.8.4.3 Construcción	63

G.3. ASPECTOS ESTRUCTURALES	65
------------------------------------	-----------

G.3.1	GENERALIDADES	65
G.3.1.1	ALCANCE	65
G.3.1.2	NOMENCLATURA DE VARIABLES	65
G.3.1.3	NORMAS TÉCNICAS REFERENCIADAS	69
G.3.1.3.1	Normas técnicas promulgadas por el ICONTEC	69
G.3.1.3.2	Normas Técnicas ASTM	70
G.3.1.3.3	Normas Técnicas AWWA	73
G.3.1.3.4	NORMAS TÉCNICAS ISO (PARA REFERENCIA)	74
G.3.1.3.5	Normas Técnicas AASHTO	76
G.3.1.3.6	Normas Técnicas API	76
G.3.1.3.7	Normas National Sanitation Foundation (NSF)	76
G.3.1.3.8	Normas DIN	76
G.3.2	EFFECTOS DE CARGAS EXTERNAS	77
G.3.2.1	CARGAS EXTERNAS Y PRESIONES INTERNAS	77
G.3.2.1.1	Generalidades	77
G.3.2.1.2	Cargas de diseño	77
G.3.2.1.3	Presiones internas de diseño	78
G.3.2.2	CÁLCULO DE LOS EFECTOS DE LAS CARGAS EXTERNAS	78
G.3.2.2.1	Generalidades	78
G.3.2.2.2	Cargas de peso del suelo sobre tuberías flexibles	78
G.3.2.2.3	Cálculo de deflexiones de la sección transversal en tuberías flexibles	79
G.3.2.2.4	Cálculo de pandeo en tuberías flexibles	82
G.3.2.2.5	Cargas de peso del suelo en tuberías rígidas	82
G.3.2.2.6	Condiciones de instalación en zanja para tuberías rígidas	83
G.3.2.2.7	Condiciones de instalación en terraplenes con proyección positiva para tuberías rígidas	83
G.3.2.2.8	Condiciones de instalación en terraplenes con proyección negativa o zanja inducida para tuberías rígidas	87
G.3.2.3	CONDICIONES DE INSTALACIÓN BAJO RELLENOS CON SUPERFICIES INCLINADAS	89
G.3.2.4	CARGAS EN TUBERÍAS GATEADAS Y EN CONDICIONES DE TÚNEL	89
G.3.2.5	MÉTODO ALTERNO DE ANÁLISIS Y TUBERÍAS SEMIRÍGIDAS	90
G.3.2.6	CARGAS SOBREIMPUESTAS EN TUBERÍAS RÍGIDAS Y FLEXIBLES	90
G.3.2.6.1	Generalidades	90
G.3.2.6.2	Cargas sobreimpuestas concentradas en tuberías rígidas o flexibles	90
G.3.2.6.3	Cargas sobreimpuestas distribuidas en tuberías rígidas o flexibles	91
G.3.2.7	CAPA DE CIMENTACIÓN Y RELLENO LATERAL	91
G.3.2.7.1	Generales	91
G.3.2.7.2	Aspectos constructivos para condiciones de instalación en zanja	92
G.3.2.8	EXPANSIÓN Y CONTRACCIÓN TÉRMICA	93
G.3.2.8.1	General	93
G.3.2.8.2	Coefficientes de expansión térmica	93
G.3.2.8.3	Uniones de tuberías	94
G.3.2.8.4	Esfuerzos por cambios de temperatura	94
G.3.2.9	CARGAS Y DISEÑO SÍSMICO	94
G.3.3	DISEÑO DE TUBERÍAS PARA SISTEMAS DE ACUEDUCTO	94
G.3.3.1	GENERALIDADES Y ALCANCE	94
G.3.3.2	APLICACIÓN	96
G.3.3.3	CARGAS EXTERNAS Y PRESIONES INTERNAS	96
G.3.3.3.1	Combinaciones de cargas y de presiones internas	96
G.3.3.3.2	Efectos causados por las cargas	100
G.3.3.3.3	Efectos sísmicos y de cambios de temperatura	100
G.3.4	DISEÑO DE TUBERÍAS PARA SISTEMAS DE ALCANTARILLADO	100
G.3.4.1	GENERALIDADES	100
G.3.4.2	MATERIALES PARA TUBERÍAS EN SISTEMAS DE ALCANTARILLADOS	101
G.3.4.3	UNIONES DE TUBERÍAS	103

G.3.4.4	Requerimientos estructurales	104
G.3.4.4.1	Generalidades	104
G.3.4.4.2	Factores de seguridad en el diseño y comportamiento límite	104
G.3.4.4.3	Tuberías rígidas	105
G.3.4.4.4	Tuberías flexibles	108
G.3.5	DISEÑO DE TANQUES Y COMPARTIMENTOS ESTANCOS	110
G.3.5.1	GENERALIDADES	110
G.3.5.1.1	Tanques en concreto reforzado	110
G.3.5.1.2	Tanques de acero	110
G.3.5.1.3	Tanques de otros materiales	110
G.3.5.2	REQUISITOS COMPLEMENTARIOS PARA ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO	110
G.4.	ASPECTOS DE CONSTRUCCIÓN	113
G.4.1	GENERALIDADES	113
G.4.1.1	ALCANCE	113
G.4.1.2	NORMAS Y ESPECIFICACIONES	113
G.4.1.2.1	Normas técnicas colombianas	113
G.4.1.2.2	Normas técnicas AWWA	113
G.4.1.2.3	Normas técnicas ASTM	113
G.4.1.2.4	Normas técnicas API	113
G.4.1.3	PLANOS DE CONSTRUCCIÓN	114
G.4.1.4	PLAN DE CALIDAD	114
G.4.2	ORGANIZACIÓN DE LA OBRA	114
G.4.2.1	DEFINICIÓN DE ETAPAS DE CONSTRUCCIÓN Y PROGRAMACIÓN DE LA OBRA	114
G.4.2.2	COSTOS Y CANTIDADES DE OBRA	115
G.4.2.2.1	Costo de preparación de la propuesta	115
G.4.2.2.2	Sistema de precios	115
G.4.2.2.3	Costos por garantías y seguros	115
G.4.2.3	TRABAJOS PRELIMINARES	115
G.4.2.3.1	Descripción	115
G.4.3	LIMPIEZA DE LA OBRA	117
G.4.4	MAQUINARIA Y EQUIPO	118
G.4.4.1	ESPECIFICACIONES DE EQUIPO	118
G.4.4.2	EQUIPO DE INSTALACIÓN	118
G.4.4.3	HERRAMIENTAS	119
G.4.4.4	DISPOSICIONES EN VÍA PÚBLICA	120
G.4.5	ACCESOS A CAMPAMENTOS, ESTACIONES DE BOMBEO, PLANTAS DE TRATAMIENTO, LOCALIDADES	120
G.4.6	CENTRO DE ACOPIO, CAMPAMENTO Y OFICINAS	120
G.4.7	INSTALACIONES Y CONEXIONES	121
G.4.7.1	GENERALIDADES	121
G.4.7.2	PROCEDIMIENTO DE INSTALACIÓN Y CONEXIÓN DE TUBERÍAS	122
G.4.7.2.1	Tubería de acero	122
G.4.7.2.2	Tuberías de PVC	123
G.4.7.2.3	Tuberías de concreto	124
G.4.7.2.4	Tuberías de gres	126
G.4.7.2.5	Otras tuberías	126

G.4.7.3	INSTALACIÓN DE ACCESORIOS	126
G.4.7.3.1	Instalación de válvulas	127
G.4.7.3.2	Instalación de hidrantes	127
G.4.7.3.3	Accesorios de tuberías	127
G.4.7.4	INSTALACIÓN DE TUBERÍA EN PASOS ELEVADOS	127
G.4.8	TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE TUBERÍAS Y MATERIALES	127
G.4.8.1	ACARREO	127
G.4.8.2	RECIBIMIENTO	128
G.4.8.3	ALMACENAMIENTO	129
G.4.8.3.1	Recomendaciones para tubería de acero	129
G.4.8.3.2	Recomendaciones para tubería de PVC	129
G.4.8.3.3	Recomendaciones para tubería de concreto y gres	130
G.4.8.4	REPARACIÓN DE TUBERÍAS	130
G.4.9	PRUEBAS	130
G.4.10	SEÑALIZACIÓN Y SEGURIDAD DURANTE LA CONSTRUCCIÓN	131
G.4.10.1	ALCANCE	131
G.4.10.2	ROTULADO DE LOS SISTEMAS DE TUBERÍAS Y ACCESORIOS	131
G.4.10.2.1	Colores de seguridad	131
G.4.10.2.2	Dirección de flujo	131
G.4.10.2.3	Precauciones	131
G.4.10.3	PROTECCIÓN DE LA ZONA DE TRABAJO	132
G.4.10.4	NORMAS BÁSICAS DE SEGURIDAD	133
G.4.10.4.1	Generalidades	133
G.4.10.4.2	Señales preventivas	133
G.4.10.4.3	Señales reglamentarias	134
G.4.10.4.4	Señales informativas	134
G.4.10.4.5	Señales luminosas	135
G.5.	INSTALACIONES MECÁNICAS Y ELÉCTRICAS	137
G.5.1	ALCANCE	137
G.5.1.1	INSTALACIONES MECÁNICAS	137
G.5.1.2	INSTALACIONES ELÉCTRICAS	137
G.6.	VULNERABILIDAD Y REDUCCIÓN DE RIESGOS	139
G.6.1	GENERALIDADES	139
G.6.1.1	ALCANCE	139
G.6.2	ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD	140
G.6.2.1	CONCEPTUALIZACIÓN	140
G.6.2.2	TIPOS DE VULNERABILIDAD	140
G.6.2.3	ESTIMACIÓN DE LA VULNERABILIDAD	140
G.6.3	PLAN DE CONTINGENCIAS	141
G.6.3.1	CONCEPTUALIZACIÓN	141
G.6.3.2	ESTIMACIÓN DE ESCENARIOS DE RIESGO	141
G.6.3.3	ATENCIÓN DE EMERGENCIAS	142
G.6.4	MEDIDAS DE REDUCCIÓN DE RIESGOS	142

TUBERIAS DE ACERO	143
TUBERÍAS EN POLICLORURO DE VINILO - PVC	153
TUBERÍAS EN CONCRETO A PRESIÓN	163

CAPÍTULO G.0

G.0. REFERENCIACIÓN GENERAL

G.0.1 SISTEMA DE UNIDADES

cm ²	centímetro cuadrado
cm ³	centímetro cúbico
dia	día
h	hora
J	Joule
kg	kilogramo
kgf	kilogramo fuerza
km	kilómetro
kN	kilonewton
kpa	kilopascal
m	metro
m ²	metro cuadrado
m ³	metro cúbico
min	minuto
mm	milímetro
mm ³	milímetro cúbico
Mpa	megapascal
N	Newton
°	grados
°C	grado Celsius
Pa	Pascal
psi	libras/pulgada cuadrada
pulg	pulgada
rad	radián
s	segundo
t	tonelada
%	porcentaje

G.0.2 VARIABLES

A	= área de la sección transversal de la unión	m ²
A _{cd}	= ancho de la zona de carga distribuida	m
A _p	= ángulo que forma el perímetro de la tubería con el apoyo efectivo	°
A _s	= área de la sección transversal del anillo de rigidización	m ²
B'	= coeficiente empírico de soporte elástico	-
B _d	= ancho de la zanja en la parte superior de la tubería embebida	m
c	= ancho del anillo de rigidización contra el cilindro	m
c'	= cohesión efectiva	Mpa
c _v	= coeficiente de consolidación	-
C _c	= coeficiente adimensional de carga	-
C _d	= coeficiente adimensional de carga	-

C_n	= coeficiente de carga para tuberías con proyección negativa	-
C_s	= coeficiente de carga función de $D/2H$ y $M/2$	-
C_T	= coeficiente de expansión térmica	mm/mm/°C
C_c	= coeficiente de compresión	-
C_e	= coeficiente de expansión	-
C_r	= coeficiente de recompresión	-
C_u	= cohesión no drenada	Mpa
d_c	= deflexión vertical de la tubería, o sea el acortamiento en su dimensión vertical	m
d_n	= diámetro al eje neutro de la lámina	m
D	= diámetro nominal de la tubería	m
D_e	= diámetro externo de la tubería	m
D_f	= desviación en la parte final libre del tubo	°
D_i	= diámetro interno de la tubería	m
D_j	= diámetro de la unión	m
D_l	= factor de retardo de la deflexión (1.0-1.5)	-
D_L	= factor de retardo en la deflexión	-
DR	= relación de dimensiones	-
D_{yi}	= diámetro interno del cilindro	m
Δ	= deflexión horizontal o vertical de la tubería	m
Δ_d	= ángulo de deflexión en el cambio de dirección	°
Δ_x	= deflexión horizontal de la tubería	m
Δ_y	= deflexión vertical	m
Δ_{yp}	= deflexión preestablecida durante el ensayo	m
e_{min}	= espesor mínimo de la pared	m
e	= relación de vacíos	-
E	= módulo de elasticidad del material de la tubería	Mpa
E'	= modulo de reacción de la subrasante	Mpa
E'	= módulo efectivo	Mpa
E_a	= módulo de elasticidad del acero	Mpa
E_c	= módulo de elasticidad del mortero	Mpa
E_s	= módulo de Young	Mpa
E_u	= módulo drenado	Mpa
ϕ'	= ángulo de fricción efectivo entre el material del relleno y el suelo	°
ϕ_u	= ángulo resistencia no drenada	°
f_b	= esfuerzo longitudinal a flexión en los anillos de rigidización	Mpa
f'_c	= esfuerzo a compresión nominal especificado para el concreto	Mpa
f_s	= esfuerzo circunferencial en el cilindro de acero para la presión de trabajo	Mpa
f_y	= resistencia a la fluencia mínima especificada para el material	Mpa
F	= fuerza sobre el tubo	N/m
F_f	= factor de forma de la tubería	-
F_l	= fuerza lateral	N
FI	= factor de impacto	-
FS	= factor de seguridad	-
$FT1$	= combinación de los factores de diseño de la carga actuante y de la presión del ensayo de campo	-

FT2	= combinación de los factores de diseño de la carga actuante y de la presión del ensayo de campo	-
FW1	= combinación del factor de diseño de la carga actuante	-
FWT1	= combinaciones de los factores de diseño de la carga actuante mas el de la carga transiente y el de la presión interna.	-
FWT6	= combinaciones de los factores de diseño de la carga actuante mas el de la carga transiente y el de la presión interna.	-
G	= módulo de cortante	Mpa
G _s	= peso específico de sólidos	N/m ³
γ _c	= peso específico del concreto reforzado	N/m
γ _d	= peso unitario seco	N/m ³
γ _m	= peso específico del mortero	N/m
γ _r	= peso unitario del material de relleno	N/m ³
γ _s	= peso específico del acero estructural	N/m
γ _t	= peso unitario total	N/m ³
γ _w	= peso específico del agua	N/m
h _w	= altura de la superficie de agua por encima de la tubería	m
H	= altura del relleno por encima de la parte superior del tubo	m
HDB	= esfuerzo hidrostático de diseño para PVC	Mpa
I	= momento de inercia de la sección transversal de la pared del tubo (t ³ /12)	m ⁴ /m
I _p	= intensidad de la carga distribuida	Pa
I _s	= momento de inercia del acero	m ⁴ /m
IP	= índice plástico	-
k	= Relación de Rankine de presión laterla unitaria a presión vertical unitaria.	-
k	= permeabilidad	cm/sg ²
K	= módulo de subrasante	Mpa
K	= factor de soporte	-
Ka	= coeficiente presión activa	-
Ko	= coeficiente presión reposo	-
Kp	= coeficiente presión pasiva	-
K _t	= rigidez del tubo	N/m
L	= longitud del tubo	m
L _c	= longitud crítica para que se presente colapso por presión interna	m
L _e	= longitud efectiva de la tubería	m
L _f	= factor de soporte para tuberías rígidas	-
L _i	= longitud libre del tubo entre elementos de refuerzo	m
μ'	= coeficiente de fricción entre el material de relleno y las paredes de la zanja	-
μ	= coeficiente de fricción interna del material o suelo	-
m	= fracción del diámetro de la tubería de alcantarillado ssobre la cual la presión lateral es efectiva	-
m _v	= módulo de compresibilidad	Mpa
M	= longitud de la zona de carga distribuida	m

M_d	= módulo de deformación	Mpa
M_s	= módulo confinado	Mpa
n	= porosidad	-
N	= parámetro función de la clase de soporte	
ρ	= relación de proyección positiva	-
ρ'	= relación de proyección negativa	-
P	= reacción total en el apoyo	N
P_c	= clase de presión	Mpa
P_{ft}	= presión interna en ensayos de campo	Mpa
P_g	= presión interna determinada con el gradiente hidráulico	Mpa
P_i	= presión interna	Mpa
$P_{m\acute{a}x}$	= máxima presión interna de diseño	Mpa
P_0	= presión del suelo	Mpa
P_{cs}	= carga concentrada en superficie	N
P_s	= presión interna determinada por la cabeza hidráulica	Mpa
P_{sp}	= reserva para sobrepresiones	Mpa
P_v	= presión interna de vacío	Pa
P_w	= presión interna de trabajo = $\max(P_g, P_s)$	Mpa
P_t	= presión transiente interna	KPa
q	= relación entre la presión lateral total y la carga vertical total sobre la tubería	-
q_a	= presión admisible de pandeo	Pa
q_{ext}	= presión externa actuante	Pa
r	= radio medio del tubo	m
r_{sd}	= relación de asentamientos	-
r_y	= radio medio del cilindro del accesorio	m
R_b	= radio de flexión del tubo	m
$R_{b\acute{m}in}$	= radio mínimo de flexión del tubo	m
R_c	= relación de compresión	-
R_e	= relación de expansión	-
R_w	= factor de flotación del agua	-
s	= esfuerzo normal total	Mpa
s'	= esfuerzo normal efectivo	Mpa
s_a	= esfuerzo admisible que depende del material	Mpa
S_{adm}	= esfuerzo admisible de diseño	Mpa
S_b	= esfuerzo admisible de flexión	Mpa
S_d	= asentamiento del suelo desde la superficie	m
$S_d+S_f+d_c$	= asentamiento del plano crítico	m
S_f	= asentamiento total de la parte inferior de la tubería	m
$S_f + d_c$	= asentamiento de la parte superior de la tubería	m
S_{fi}	= esfuerzo de flexión en la luz para la tubería con extremos sin restricción	Mpa
S_g	= asentamiento del suelo natural adyacente a la tubería	m
S_l	= esfuerzo localizado en el apoyo	Mpa
S_{max}	= máximo esfuerzo actuante en la tubería original del terreno hasta la parte superior de la tubería o sea la columna de suelo $\rho'B_d$	Mpa
S_m	= compresión de la columna de suelo de altura ρD_e	m
S_m+S_g	= asentamiento del plano crítico	m

S_p	= esfuerzo anular debido a la presión interna del agua	Mpa
S_r	= saturación	%
$S_{tm\acute{a}x}$	= máximo esfuerzo en el apoyo (montura o silla)	Mpa
S_t	= esfuerzo de tensión por efectos longitudinales	Mpa
S_{Temp}	= esfuerzo producido por cambios de temperatura del material	Mpa
t	= espesor de la pared del tubo	m
t_c	= espesor del recubrimiento externo	m
t_i	= espesor del revestimiento interno	m
t_y	= espesor del cilindro	m
t_0	= mínima temperatura	°C
t_1	= máxima temperatura	°C
τ	= esfuerzo cortante	Mpa
T	= empuje hidrostático	N
T'	= factor de temperatura	-
T_r	= espesor requerido para el cilindro de acero	m
u_a	= presión de aire	Mpa
u o u_w	= presión de agua	Mpa
ν	= relación de Poisson	-
ν'	= relación Poisson efectiva	-
ν_u	= relación Poisson no drenado	-
w	= humedad	%
w_c	= límite de contracción	%
w_L	= límite de líquido	%
w_p	= límite plástico	%
W	= carga sobre la tubería	N/m
W_c	= carga sobre tubería con proyección positiva	N/m
W_d	= carga muerta del suelo sobre la tubería	N/m
W_e	= carga muerta externa	N
W_f	= peso del fluido	N
W_l	= carga viva actuante sobre el tubo por unidad de longitud	N/m
W_n	= carga del relleno en proyección negativa sobre tubería	N/m
W_p	= peso de la tubería	N
W_{sc}	= carga sobre la tubería actuando sobre la longitud efectiva L_e	N/m
W_t	= cargas transientes	N
$W1$	= combinaciones de la carga de diseño y la presión interna	-
$W2$	= combinaciones de la carga de diseño y la presión interna	-
$WT 1$	= combinación de la carga de diseño más la carga transiente y la presión interna	-
$WT 3$	= combinación de la carga de diseño más la carga transiente y la presión interna	-
x	= parámetro que depende del área sobre la cual actúa la presión lateral	-

G.0.3 ABREVIATURAS

CAR	Cómite Asesor del Reglamento
DSPD	Dirección de Servicios Públicos Domiciliarios del Ministerio de Desarrollo Económico
IGAC	Instituto Geográfico Agustín Codazzi
NSR-98	Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente, Ley 400 de 1997 y Decreto 33 de 1998.

G.0.4 NORMAS TÉCNICAS REFERENCIADAS**G.0.4.1 NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS**

NTC 10	Clasificación de tubos de acero.
NTC 11	Tubería metálica. Tubos de acero al carbono de acero aleado ferrítico y de acero aleado austenítico, con y sin costura. Requisitos generales.
NTC 44	Ingeniería Civil y Arquitectura. Tubos y juntas de asbesto-cemento para conducción de fluidos a presión.
NTC 77	Ingeniería Civil y Arquitectura. Método para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos.
NTC 93	Ingeniería Civil y Arquitectura. Determinación de la resistencia al desgaste de agregados gruesos mayores de 19 mm, utilizando la Máquina de los Angeles.
NTC 98	Ingeniería Civil y Arquitectura. Determinación de la resistencia al desgaste de agregados gruesos hasta de 37.5 mm utilizando la Máquina de los Angeles.
NTC 116	Alambre duro de acero para refuerzo de concreto.
NTC 121	Ingeniería Civil y arquitectura. Cemento Portland. Especificaciones físicas y mecánicas.
NTC 126	Ingeniería Civil y Arquitectura. Método de ensayo para determinar la solidez de los agregados con el uso del sulfato de sodio o sulfato de magnesio.
NTC 174	Ingeniería Civil y Arquitectura. Especificaciones de los agregados para concreto.
NTC 212	Ensayos de resistencia para tubos de concreto y de gres por el método de los tres apoyos.
NTC 268	Tubos sanitarios de asbesto cemento.
NTC 357	Tubos y accesorios de gres de resistencia normal.
NTC 369	Plásticos. Compuestos rígidos de poli(cloruro de vinilo) (PVC) y compuestos de poli(cloruro de vinilo) clorado (CPVC)
NTC 382	Plásticos. Tubos de policloruro de vinilo (PVC) clasificados según la presión (serie RDE)
NTC 384	Ingeniería Civil y Arquitectura. Asbesto-cemento. Tubos para alcantarillado.
NTC 401	Ingeniería Civil y Arquitectura. Tubos de hormigón reforzado para alcantarillados.
NTC 487	Manguitos de asbesto-cemento.
NTC 539	Plásticos. Tubo de poli (cloruro de vinilo) (PVC) y de poli(cloruro de vinilo) clorado (CPVC) para conducción de agua potable. Requisitos de atoxicidad.
NTC 550	Ingeniería Civil y Arquitectura. Elaboración y curado de especímenes de concreto en obra.
NTC 673	Ingeniería Civil y Arquitectura. Ensayo de resistencia a la compresión de cilindros de concreto.
NTC 688	
NTC 722	Ingeniería Civil y Arquitectura. Método para la determinación de la resistencia a la tensión indirecta de especímenes cilíndricos de concreto.
NTC 747	Tubos de presión tipo cilindro de acero con recubrimiento de hormigón, mortero o ambos.
NTC 872	
NTC 1022	Ingeniería Civil y Arquitectura. Tubos de concreto sin refuerzo para alcantarillado.
NTC 1087	Tubos de policloruro de vinilo (PVC) rígido para uso sanitario.

NTC 1259	Ingeniería Civil y Arquitectura. Instalación de tuberías para conducción de aguas sin presión.
NTC 1328	Ingeniería Civil y Arquitectura. Juntas flexibles para la unión de tubos circulares de concreto.
NTC 1339	Accesorios de PVC rígidos para transporte de fluidos en tuberías a presión.
NTC 1341	Accesorios de PVC rígidos para tuberías sanitarias.
NTC 1393	Prefabricados. Tapas de hormigón de pozos de inspección para alcantarillados.
NTC 1461	Higiene y seguridad. Colores y señales de seguridad.
NTC 1493	Suelos. Ensayo para determinar el límite plástico y el índice de plasticidad. (ASTM D 4318)
NTC 1494	Suelos. Ensayo para determinar el límite líquido. (ASTM D 4318)
NTC 1495	Suelos. Ensayo para determinar el contenido de humedad. (ASTM D 2216)
NTC 1503	Suelos. Ensayo para determinar los factores de contracción. (ASTM D 427)
NTC 1504	Suelos. Clasificación para propósitos de ingeniería. (ASTM D 2487)
NTC 1527	Suelos. Ensayo para determinar la resistencia a la compresión confinada. (ASTM D 2166)
NTC 1528	Suelos. Ensayo para determinar la masa unitaria en el terreno. Método del balón de caucho. (ASTM D 2167)
NTC 1602	
NTC 1667	Determinación de la masa unitaria en el terreno por el método del cono de arena. (ASTM D 1556)
NTC 1747	Plásticos. Tubos de polietileno PE especificados por su diámetro interior (RDIE-PM)
NTC 1748	Tubos de policloruro (PVC) rígido para alcantarillado.
NTC 1886	Suelos. Determinación de la humedad, ceniza y materia orgánica. (ASTM D 2974)
NTC 1907	Siderurgia. Alambre de acero para concreto armado.
NTC 1917	Suelos. Determinación de la resistencia al corte. Método de corte directo (CD). (ASTM D 3080)
NTC 1936	Suelos. Determinación de la resistencia en rocas. Método de la compresión triaxial. (ASTM D 2664)
NTC 1967	Suelos. Determinación de las propiedades de consolidación unidimensional. (ASTM D 2435)
NTC 1974	Suelos. Determinación de la densidad relativa de los sólidos. (ASTM D 854)
NTC 2010	Siderurgia. Cordones de acero de 7 alambres sin recubrimiento, para concreto pretensado.
NTC 2017	Ingeniería Civil y Arquitectura. Adoquines de hormigón.
NTC 2121	Suelos. Obtención de muestras para probetas de ensayo. Método para tubos de pared delgada. (ASTM D 1587)
NTC 2122	Suelos. Ensayo de la relación de soporte. Suelos compactados. (ASTM D 1833)
NTC 2041	Suelos cohesivos. Determinación de la resistencia. Método de compresión triaxial. (ASTM D 2850)
NTC 2043	Metalurgia. Mallas fabricadas con barras corrugadas de acero para hormigón reforzado.
NTC 2050	Código Eléctrico Nacional.
NTC 2091	Tubería metálica. Tubería de acero corrugado y galvanizado para alcantarillado y drenaje subterráneo.
NTC 2295	Plásticos. Uniones mecánicas con sellos elastoméricos para tubos y accesorios de PVC rígido en transporte de agua a presión.
NTC 2346	Mecánica. Accesorios en hierro dúctil y/o hierro gris para agua y otros líquidos. Serie inglesa.
NTC 2534	Uniones mecánicas para tubos plásticos de desagüe y alcantarillado.
NTC 2587	Tuberías metálicas. Tuberías de hierro dúctil. Acoples y accesorios para líneas de tuberías de presión.
NTC 2629	Tubería metálica. Tubería de hierro dúctil. Revestimiento de mortero-cemento centrifugado. Controles de composición del mortero recientemente aplicado.
NTC 2697	Plásticos. Accesorios de PVC rígido para tubería de alcantarillado.
NTC 2785	

NTC 2802	Ingeniería Civil y Arquitectura. Cámaras de inspección para alcantarillados, construídas en mampostería de ladrillo tolete recocido.
NTC 2836	Materias primas para pintura resina epoxicas.
NTC 2888	Láminados de plásticos termoestables reforzados moldeados por contacto para equipos resistentes a la corrosión.
NTC 2935	Plásticos. Determinación del grado de ablandamiento de tubería de poli(cloruro de vinilo) (PVC) extruido y accesorios moldeados por inmersión en acetona.
NTC 2983	
NTC 3254	Plásticos. Determinación de las características de carga exterior de tubería por medio de platos paralelos.
NTC 3257	Plásticos. Determinación de la base del diseño básico hidrostático para tuberías de material plástico.
NTC 3358	Plásticos. Determinación de las dimensiones de tubería y accesorios termoplásticos.
NTC 3359	Tubería rígida para alcantarillado en hierro dúctil .
NTC 3409	Plásticos. Accesorios de polietileno(PE) para unión por fusión a tope con tubería de polietileno (PE).
NTC 3410	Plásticos. Accesorios de polietileno tipo campana para tubería de polietileno con diámetro exterior controlado tipo IPS o CTS.
NTC 3458	Higiene y seguridad. Identificación de tuberías y servicios.
NTC 3470	Tubería metálica. Tubos de acero soldados y sin costura, negros y recubiertos de zinc por inmersión en caliente.
NTC 3526	Juntas de compresión para tubería y accesorios de gres.
NTC 3578	Plásticos. Determinación del tiempo hasta la falla, de tubería plástica sometida a presión interna constante.
NTC 3579	Plásticos. Determinación de la presión hidráulica de rotura a corto plazo en tubos y accesorios de plástico.
NTC 3640	Plásticos. Tubos corrugados en policloruro de vinilo (PVC) con interior liso y accesorios para alcantarillado.
NTC 3653	Ingeniería Civil y Arquitectura. Definiciones estándar de términos relacionados con tuberías de concreto y productos afines.
NTC 3664	Plásticos. Tubos plásticos de polietileno (PE) con base eb el diámetro exterior controlado y clasificado según la presión (RDE-PT)
NTC 3694	Plásticos. Tubos tipo CTS de polietileno (PE)
NTC 3721	Plásticos. Tubos ligeros y accesorios para sistemas de drenaje subterráneo y alcantarillado. Métodos de ensayo generales.
NTC 3722	Plásticos. Tubos ligeros y accesorios para sistemas de drenaje subterráneo y alcantarillado. Especificaciones para PVC-U.
NTC 3742	Practica normalizada para instalación subterránea de tubos termoplásticos de presión.
NTC 3789	Ingeniería Civil y Arquitectura. Secciones de cámara de inspección de prefabricados en concreto reforzado.
NTC 3796	Método de ensayo para tubería de gres.
NTC 3803	Ingeniería Civil y Arquitectura. Especificaciones para conectores elásticos entre tramos de conductos y pozos de inspección de concreto reforzado.
NTC 3826	Plásticos. Tubos de fibra de vidrio (resina termo-estable reforzada con fibra de vidrio) para usos en sistemas a presión industriales y de alcantarillado.
NTC 3870	Plásticos. Tubos de fibra de vidrio para usos en alcantarillado.
NTC 3871	Plásticos. Tubos de fibra de vidrio (resina termoestable reforzada con fibra de vidrio) para uso en sistemas a presión.
NTC 3877	Plásticos. Especificaciones para juntas de fibra de vidrio (resina termo-estable con fibra de vidrio) usando sellos elastoméricos.
NTC 3919	Plásticos. Tubos de fibra de vidrio (resina termoestable reforzada con fibra de vidrio) de filamento enrollado.
NTC 4075	Unidades (ladrillos) de concreto para construcción de sumideros y cámaras de inspección de concreto reforzado.

NTC 4089 Ingeniería Civil y Arquitectura. Accesorios de gres para alcantarillado y perforados para drenaje. Resistencia normal.

G.0.4.2 NORMAS TÉCNICAS AWWA

- C 104 American National Standard for cement-mortar lining for ductile-iron pipe and fittings for water.(ANSI A 21.4)
- C 105 American National Standard for polyethylene encasement for ductile-iron pipe systems. (ANSI A 21.5)
- C 106 Cast iron pipe centrifugally cast in metal molds for water of other liquids.
- C 110 American National Standard for ductile-iron and gray-iron fittings, 3 In Through 48 In. (75 mm Through 1200 mm), for water and other liquids. (ANSI A 21.10)
- C 111 American National Standard for rubber-gasket joints for ductile-iron pressure pipe and fittings. (ANSI A 21.11)
- C 115 American National Standard for flanged ductile-iron pipe with ductile-iron or gray-iron threaded flanges. (ANSI A 21.15)
- C 150 American National Standard for the thickness design of ductile-iron pipe. (ANSI A 21.50)
- C 151 American National Standard for ductile-iron pipe, centrifugally cast, for water or other liquids. (ANSI A 21.51)
- C 153
- C 200 Standard for steel water pipe 6 In (150 mm) and larger.
- C 203 Standard for coal-tar protective coatings and linings for steel water pipelines-Enamel and tape-hot-applied.
- C 205 Standard for cement-mortar protective lining and coating for steel water pipe - 4 In and Larger - shop applied.
- C 206 Standard for field welding of steel water pipe.
- C 207 Standard for steel pipe flanges for waterwork service-sizes 4 In through 144 In (100 mm through 3600 mm)
- C 208 Standard for dimensions for fabricated steel water pipe fittings.
- C 209 Standard for cold-applied tape coatings for the exterior of special.
- C 210 Standard for liquid epoxy coating systems for the interior and exterior of steel water pipelines.
- C 213 Standard for fusion-bonded epoxy coating for the interior and exterior of steel water pipelines.
- C 214 Standard for tape coating systems for the exterior of steel water pipelines (includes addendum C214a-91).
- C 219 Standard for bolted, sleeve type couplings for plain-end pipe.
- C 300 Standard for reinforced concrete pressure pipe, steel-cylinder type, for water and other liquids (includes addendum C300a-93)
- C 301 Standard for prestressed concrete pressure pipe, steel - cylinder tipe for water and other liquids.
- C 302 Standard for reinforced concrete pressure pipe, noncylinder type.
- C 303 Standard for concrete pressure pipe, bar-wrapped, steel-cylinder type.
- C 304 Standard for design of prestressed concrete cylinder pipe.
- C 400 Standard for asbestos-cement pressure pipe, 4 In through 16 In for water distribution systems.
- C 401 Standard for the selection of asbestos-cement pressure pipe, 4 In through 16 In for water distribution systems.
- C 402 Standard for asbestos-cement transmission pipe, 18 In. Through 42 In (450 mm Through 1050 mm), for potable water and other liquids.
- C 403 Standard for the selection of asbestos-cement transmission and feeder main pipe, sizes 18 In. through 42 In. (450 mm through 1050 mm)
- C 602 Standard for cement-mortar lining of water pipelines - 4 In (100 mm) and larger - In place.

C 605	Standard for underground installation of polyvinyl chloride (PVC) pressure pipe and fittings for water.
C 606	Standard for grooved and shouldered joints.
C 900	Standard for polyvinyl chloride (PVC) pressure pipe 4 In through 12 In, for water distribution (includes addendum C900a-92).
C 902	Standard for polybutylene (PB) pressure pipe and tubing, ½ In. Through 3 In., for water.
C 905	Standard for polyvinyl chloride (PVC) water transmission pipe, nominal diameters 14 In. Through 36 In.
C 906	Standard for polyethylene (PE) pressure pipe and fittings, 4 In. through 63 In, for water distribution.
C 907	Standard for polyvinyl chloride (PVC) pressure fittings for water 4 In. through 8 In. (100 mm through 200 mm).
C 950	Standard for fiberglass pressure pipe.

G.0.4.3 NORMAS TÉCNICAS ASTM

A 36	Specification for carbon structural steel.
A 53	Specification for pipe, steel, black and hot-dipped, zinc-coated welded and seamless.
A 74	Specification for cast iron soil pipe and fittings.
A 135	Specification for electric-resistance-welded steel pipe.
A 139	Specification for electric - fusion (ARC) - welded steel pipe (NPS 4 and over).
A 283	Specification for low and intermediate tensile strength carbon steel plates.
A 370	Standard test method and definitions for mechanical testing of steel products.
A 475	Specification for zinc-coated steel wire strand.
A 570	Standard specification for steel, sheet, and strip, carbon, hot-rolled-structural quality.
A 572	Specification for high-strength low-alloy columbium-vanadium structural steel.
A 589	Specification for seamless and welded carbon steel water-well pipe.
A 716	Specification for ductile iron culvert pipe.
A 746	Specification for ductile iron gravity sewer pipe.
A 751	Standard test methods, practices, and terminology for chemical analysis of steel products.
A 760	Specification for corrugated steel pipe, metallic-coated for sewers and drains.
A 762	Specification for corrugated steel pipe, polymer precoated for sewers and drains.
A 865	Specification for threaded couplings, steel, black or zinc-coated (galvanized) welded or seamless, for use in steel pipe joints.
A 888	Standard specification for hubless cast iron soil pipe and fittings for sanitary and storm drain, waste, and vent piping applications.
A 961	Specification for common requirements for steel flanges, forged fittings, valves, and parts for piping applications.
C 12	Standard practice for installation vitrified clay pipe lines.
C 14	Standard specification for concrete sewer, storm drain, and culvert pipe.
C 39	Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens.
C 76	Standard specification for reinforcement concrete culvert, storm drain, and sewer pipe.
C 78	Standard test method for flexural strength of concrete (using simple beam with third-point loading)
C 116	Standard test method for compressive strength of concrete using portions of beams broken in flexure.
C 143	Standard test method for slump of hydraulic cement concrete.
C 293	Standard test method for flexural strength of concrete (using simple beam with center-point loading)
C 301	Standard test methods for vitrified clay pipe.
C 361	Standard specification for reinforced concrete low-head pressure pipe.
C 425	Specifications for compression joints for vitrified clay pipe and fittings.
C 428	Standard specification for asbestos-cement nonpressure sewer pipe.

C 443	Standard specification for joints for circular concrete sewer and culvert pipe, using rubber gaskets.
C 497	Standard test methods for concrete pipe, manhole sections, or tile.
C 500	Standard test method for asbestos-cement pipe.
C 505	Standard specification for nonreinforcement concrete irrigation pipe with rubber gasket joints.
C 506	Specification for reinforced concrete arch culvert, storm drain and sewer pipe.
C 507	Specification for reinforced concrete elliptical culvert, storm drain and sewer pipe.
C 535	Standard test method for resistance to degradation of large-size coarse aggregate by abrasion and impact in the Los Angeles Machine.
C 582	Standard specification for contact-molded reinforced thermosetting plastic (rtp) laminates for corrosion resistant equipment.
C 644	Standard terminology relating to iron castings.
C 655	Specification for reinforced concrete D-load culvert, storm drain and sewer pipe.
C 700	Specification for vitrified clay pipe, extra strength, standard strength and perforated.
C 822	Standard terminology relating to concrete pipe and related products.
C 873	Standard test method for compressive strength of concrete cylinders cast in place in cylindrical molds.
C 877	Specification for external sealing bands for noncircular concrete sewer, storm drain and culvert pipe.
C 887	Standard specification for external sealing bands for noncircular concrete sewer, storm drain and culvert pipe.
C 990	Standard specification for joints for concrete pipe, manholes and precast box section using preformed flexible joint sealants.
C 996	Standard guide for installing asbestos-cement nonpressure pipe.
D 402	Test method for distillation of cut-back asphaltic (bituminous) products.
D 448	Standard classification for sizes of aggregate for road and bridge construction.
D 692	Standard specification for coarse aggregate for bituminous paving mixtures.
D 995	Standard specification for mixing plants for hot-mixed, hot-laid bituminous paving mixtures.
D 1190	Standard specification for concrete joint sealer, hot-applied elastic type.
D 1557	Test method for laboratory compaction characteristics of soil using modified effort.
D 1559	Standard test method for resistance to plastic flow of bituminous mixtures using Marshall Apparatus.
D 1598	Test for time-to-failure of plastic pipe under constant internal pressure.
D 1599	Test for short-time hydraulic failure pressure of (thermoplastic/reinforced thermosetting resin) plastic pipe/tubing/fittings.
D 1784	Standard Specification for Rigid Poly (Vinyl Chloride) and Chlorinated Poly (Vinyl Chloride) Compounds.
D 2122	Test for dimensions-thermoplastic pipe/fittings.
D 2152	Test for degree of fusion of extruded PVC pipe/molded fittings by acetone immersion.
D 2152	Test for degree of fusion of extruded PVC pipe/molded fittings by acetone immersion.
D 2235	Specification for solvent cement for acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS) plastic pipe.
D 2241	Specification for poly (Vinyl Chloride) (PVC) pressure-rated pipe (SDR series).
D 2239	Specification for polyethylene (PE) plastic pipe (SDR-PR) based on controlled inside diameter.
D 2241	Specification for Poly (Vinyl Chloride) (PVC) Pressure-rated Pipe (SDR series).
D 2310	Specification for machine-made classification, reinforced thermosetting-resin (RTR) pipe, classification.
D 2321	Specification for underground installation of thermoplastic pipe (for sewers/other gravity-flow applications).
D 2412	Test for external loading characteristics of plastic pipe, by parallel-plate loading.
D 2419	Standard test method for sand and equivalent value of soils and fine aggregate.
D 2487	Test Method for Classification of Soils for Engineering Purposes (United Soil Classification System)
D 2517	Standard specification for reinforced epoxy resin gas pressure pipe and fittings.
D 2564	Specification for solvent cements for PVC piping systems.

D 2581	Specification for polybutylene (PB) plastic molding/extrusion materials.
D 2680	Specification for acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS) and Poly (Vinyl Chloride) (PVC) composite sewer pipe.
D 2729	Specification for sewer pipe and fittings, PVC (and 4 In. perforated pipe), for nonpressure drainage of sewage/surface water/ other liquids.
D 2737	
D 2751	Specification for sewer pipe fittings-ABS, by single/simultaneous multiple coextrusion.
D 2837	Test for obtaining hydrostatic design basis for thermoplastic pipe materials.
D 2855	
D 2940	Standard specification for graded aggregate material for bases or subbases for highways or airports.
D 2992	
D 2996	Specification for filament-wound glass-fiber-reinforced thermosetting-resin (fiberglass) pipe.
D 2997	Specification for fiberglass pipe-centrifugally cast.
D 3033	Specification for type PSD Poly (Vinyl Chloride) (PVC) sewer pipe and fittings.
D 3034	Specification for sewer pipe/fittings - PVC, type PSM for sewer applications.
D 3035	Specification for polyethylene (PE) plastic pipe (SDR-PR) based on controlled outside diameter.
D 3042	Standard test method for insoluble residue in carbonate aggregate.
D 3212	Specification for joint for drain/sewer plastic pipes, using flexible elastomeric seals.
D 3261	Butt heat fusion polyethylene (PE) plastic fittings for polyethylene (PE) plastic fittings for polyethylene (PE) pipe and tubing.
D 3262	Specification for fiberglass sewer pipe, for conveying sanitary sewage/storm water/industrial wastes.
D 3350	
D 3515	Standard specification for hot-mixed, hot laid bituminous paving mixtures.
D 3517	Standard specification for fiberglass (Glass-Fiber-Reinforced-Termosetting-Resine) pressure pipe. Applicable for pipes 8 in. Through 144 in. (200 mm through 3600 mm), diameter, with or without siliceous sand, and polyester or epoxy resin.
D 3581	Standard specification for joint sealant, hot-applied, jet-fuel-resistant type, for portland concrete and tar-concrete pavements.
D 3681	Test method for classification of soils for engineering purposes (United Soil Classification System).
D 3754	Specification for fiberglass (Glass-Fiber-Reinforced Termosetting-Resin) sewer and industrial pressure pipe.
D 3839	Specification for underground installation of fiberglass (glass-fiber-reinforced thermosetting-resin) pipe.
D 4024	Standard specification for machine made Fiberglass (Glass-Fiber-Reinforced-Termosetting-Resine) flanges. Applicable from 0.5 in. Through 24 in. (13 mm through 600 mm) ANSI B 16.5 lb (70 kg) bolt circle flanges
D 4161	Standard specification for fiberglass (Glass-Fiber-Reinforced-Termosetting-Resine)
F 477	Standard specification for elastomeric seals (gaskets) for joining plastic pipe.
F 545	Standard specification for PVC and ABS injected solvent cemented plastic pipe joints.
F 679	Standard specification for polyvinyl chloride (PVC) large-diameter plastic gravity sewer pipe and fittings.
F 682	Specification for wrought carbon steel -type pipe couplings.
F 714	Standard specification for polyethylene (PE) plastic pipe (SDR-PR) based on outside diameter.
F 809	Standard specification for large diameter polybutylene plastic pipe.
F 894	Standard specification for polyethylene (PE) large diameter profile wall sewer and drain pipe.
F 949	Specification for Poly(Vinyl Chloride) Corrugated Sewer Pipe With a Smooth Interior and Fittings.
F 1000	Practice for piping system drawing.
F 1248	Test method for determination of environmental stress crack resistance (ESCR) of polyethylene pipe.

F 1365 Test method for water infiltration resistance of plastic underground joints which use flexible elastomeric seals

G.0.4.4 NORMAS TÉCNICAS ISO (PARA REFERENCIA)

G.0.4.4.1 NORMAS TÉCNICAS ISO (PARA REFERENCIA)

160	Asbestos-cement pressure pipes and joints.
265	Pipes and fittings of plastics materials -- Fittings for domestic and industrial waste pipes -- Basic dimensions : Metric series -- Part 1: Unplasticized poly(vinyl chloride) (PVC-U)
391	Building and sanitary pipes in asbestos-cement
392	Asbestos-cement pipe fittings for building and sanitary purposes
559	Steel tubes for water and sewage
727	Fittings of unplasticized polyvinyl chloride (PVC-U), chlorinated polyvinyl chloride (PVC-C) or acrylonitrile/butadiene/styrene (ABS) with plain sockets for pipes under pressure -- Dimensions of sockets -- Metric series
881	Asbestos-cement pipes, joints and fittings for sewerage and drainage.
1106-3	Recommended practice for radiographic examination of fusion welded joints -- Part 3: Fusion welded circumferential joints in steel pipes of up to 50 mm wall thickness
2230	Elastómeros vulcanizados -- Condiciones de almacenamiento.
2531	Tubos, racores y accesorios de fundición dúctil para canalizaciones a presión.
3304	Plain end seamless precision steel tubes -- Technical conditions for delivery
3305	Plain end welded precision steel tubes -- Technical conditions for delivery.
3306	Plain end as-welded and sized precision steel tubes -- Technical conditions for delivery.
3472	Unplasticized polyvinyl chloride (PVC) pipes -- Specification and determination of resistance to acetone.
3473	Unplasticized polyvinyl chloride (PVC) pipes -- Effect of sulphuric acid -- Requirement and test method.
3474	Unplasticized polyvinyl chloride (PVC) pipes -- Specification and measurement of opacity.
3501	Assembled joints between fittings and polyethylene (PE) pressure pipes -- Test of resistance to pull out.
3503	Assembled joints between fittings and polyethylene (PE) pressure pipes -- Test of leakproofness under internal pressure when subjected to bending.
3514	Chlorinated polyvinyl chloride (CPVC) pipes and fittings -- Specification and determination of density.
3603	Fittings for unplasticized polyvinyl chloride (PVC) pressure pipes with elastic sealing ring type joints -- Pressure test for leakproofness.
3604	Fittings for unplasticized polyvinyl chloride (PVC) pressure pipes with elastic sealing ring type joints -- Pressure test for leakproofness under conditions of external hydraulic pressure.
3633	Unplasticized poly(vinyl chloride) (PVC-U) pipes and fittings for soil and waste discharge (low and high temperature) systems inside buildings -- Specifications.
3663	Polyethylene (PE) pressure pipes and fittings, metric series -- Dimensions of flanges.
4059	Polyethylene (PE) pipes -- Pressure drop in mechanical pipe-jointing systems -- Method of test and requirements.
4065	Thermoplastics pipes -- Universal wall thickness table.
4132	Unplasticized polyvinyl chloride (PVC) and metal adaptor fittings for pipes under pressure -- Laying lengths and size of threads -- Metric series.
4179	Revestimiento de mortero de cemento de los tubos.
TR 4191	Unplasticized polyvinyl chloride (PVC-U) pipes for water supply -- Recommended practice for laying.
4200	Plain end steel tubes, welded and seamless -- General tables of dimensions and masses per unit length.
4427	Polyethylene (PE) pipes for water supply -- Specifications.

4433-1	Thermoplastics pipes -- Resistance to liquid chemicals -- Classification -- Part 1: Immersion test method.
4433-2	Thermoplastics pipes -- Resistance to liquid chemicals -- Classification -- Part 2: Polyolefin pipes.
4433-3	Thermoplastics pipes -- Resistance to liquid chemicals -- Classification -- Part 3: Unplasticized poly(vinyl chloride) (PVC-U), high-impact poly(vinyl chloride) (PVC-HI) and chlorinated poly(vinyl chloride) (PVC-C) pipes.
4433-4	Thermoplastics pipes -- Resistance to liquid chemicals -- Classification -- Part 4: Poly(vinylidene fluoride) (PVDF) pipes.
4440-1	Thermoplastics pipes and fittings -- Determination of melt mass-flow rate -- Part 1: Test method.
4440-2	Thermoplastics pipes and fittings -- Determination of melt mass-flow rate -- Part 2: Test conditions.
4451	Polyethylene (PE) pipes and fittings -- Determination of reference density of uncoloured and black polyethylenes.
4482	Asbestos-cement pipelines -- Guide for laying.
4488	Asbestos-cement pipes and joints for thrust-boring and pipe jacking.
4633	Juntas de estanqueidad de caucho -- Guarniciones de juntas de canalizaciones de alimentación y evacuación de aguas (alcantarillados incluidos -- Especificación de materiales.
5208	Ensayos de fábrica para válvulas de mariposa.
5210	Conexión a los mecanismos manuales y eléctricos para válvulas de mariposa.
5252	Steel tubes -- Tolerance systems.
5256	Steel pipes and fittings for buried or submerged pipe lines -- External and internal coating by bitumen or coal tar derived materials.
5752	Dimensiones entre caras de las válvulas bridadas.
5752-14	Dimensionamiento de válvulas de mariposa.
6259-1	Thermoplastics pipes -- Determination of tensile properties -- Part 1: General test method.
6259-2	Thermoplastics pipes -- Determination of tensile properties -- Part 2: Pipes made of unplasticized poly(vinyl chloride) (PVC-U), chlorinated poly(vinyl chloride) (PVC-C) and high-impact poly(vinyl chloride) (PVC-HI).
6259-3	Thermoplastics pipes -- Determination of tensile properties -- Part 3: Polyolefin pipes.
7005-2	Bridas de unión para válvulas.
TR 7074	Performance requirements for plastics pipes and fittings for use in underground drainage and sewage.
7245	Pipes and fittings of acrylonitrile/butadiene/styrene (ABS) -- General specification for moulding and extrusion materials.
7259	Válvulas con compuertas revestidas de Elastomero.
7279	Polypropylene (PP) fittings for pipes under pressure -- Sockets for fusion using heated tools -- Metric series -- Dimensions of sockets.
7370	Glass fibre reinforced thermosetting plastics (GRP) pipes and fittings -- Nominal diameters, specified diameters and standard lengths.
7671	Polypropylene (PP) pipes and fittings (jointed by means of elastomeric sealing rings) for soil and waste discharge (low and high temperature) systems inside buildings -- Specifications.
7682	Acrylonitrile/butadiene/styrene (ABS) pipes and fittings for soil and waste discharge (low and high temperature) systems inside buildings -- Specifications.
7686	Plastics pipes and fittings -- Opacity -- Test method.
8179	Revestimiento externo de zinc de los tubos.
8180	Manga de poiletileno.
8572	Pipes and fittings made of glass-reinforced thermosetting plastics (GRP) -- Definitions of terms relating to pressure, including relationships between them, and terms for installation and jointing.
8772	High-density polyethylene (PE-HD) pipes and fittings for buried drainage and sewerage systems -- Specifications.

8773	Polypropylene (PP) pipes and fittings for buried drainage and sewerage systems – Specifications.
9095	Steel tubes -- Continuous character marking and colour coding for material identification.
9302	Seamless and welded (except submerged arc-welded) steel tubes for pressure purposes -- Electromagnetic testing for verification of hydraulic leak-tightness.
9330-1	Welded steel tubes for pressure purposes -- Technical delivery conditions -- Part 1: Unalloyed steel tubes with specified room temperature properties.
DIS 9330-4	Welded steel tubes for pressure purposes -- Technical delivery conditions -- Part 4: Submerged arc-welded unalloyed and alloyed steel tubes with specified elevated temperature properties (Partial revision of ISO 2604-6:1978).
DIS 9330-5	Welded steel tubes for pressure purposes -- Technical delivery conditions -- Part 5: Submerged arc-welded unalloyed and alloyed steel tubes with specified low temperature properties (Partial revision of ISO 2604-6:1978).
9330-6	Welded steel tubes for pressure purposes -- Technical delivery conditions -- Part 6: Longitudinally welded austenitic stainless steel tubes.
9624	Thermoplastics pipes for fluids under pressure -- Mating dimensions of flange adapters and loose backing flanges.
12096	Submerged arc-welded steel tubes for pressure purposes -- Radiographic testing of the weld seam for the detection of imperfections

G.0.4.5 NORMAS TÉCNICAS AASHTO

M 6	Fine aggregate of portland cement concrete.
M 31	Deformed and plain billet-steel bars for concrete reinforcement.
M 36	Zinc coated (galvanized) corrugated iron or steel culverts and underdrains.
M 80	Coarse aggregate for portland cement concrete.
M 85	Portland Cement.
M 153	Performed sponge rubber and cork expansion joint fillers for concrete paving and structural construction.
M 173	Concrete joint, sealer, hot-poured elastic type.
M 213	Performed expansion joint fillers for concrete paving and structural construction.
M 245	Precoated, galvanized steel culverts and underdrains.
T 22	Compressive strength of cylindrical concrete specimens.
T 23	Making and curing concrete compressive and flexural strength test specimens in the field.
T 24	Obtaining and testing drilled cores and sawed beams of concrete.
T 32	Sampling and testing brick.
T 97	Flexural strength of concrete (using simple beam with third-point loading)
T 104	Soundness of aggregate by use of sodium sulfate or magnesium sulfate.
T 119	Slump for portland cement concrete.
T 148	Measuring length of drilled concrete cores.
T 176	Plastic fines in graded aggregates and soils by use of the sand equivalent test.
T 209	Maximum Specific Gravity of bituminous paving mixtures.

G.0.4.6 NORMAS TÉCNICAS NLT

122	Peso específico a 25° C.
124	Penetración a 25° C, 0.01 mm, 100 gr, 5 sg.
125	Punto de ablandamiento (anillo y bola) ° C
126	Ductilidad a 25° C, cm.
136	Punto de chispa, ° C.

G.0.4.7 NORMAS TÉCNICAS API

650	Welded steel tanks for oil storage.
1104	Radiografías para inspección de soldaduras.

G.0.4.8 NORMAS NATIONAL SANITATION FOUNDATION (NSF)

14	Ensayo toxicológico y organoléptico (sabor y olor)
----	--

CAPÍTULO G.1

G.1. ASPECTOS GENERALES

G.1.1 ALCANCE

El propósito de este capítulo es fijar los criterios básicos y requisitos mínimos que deben reunir los diferentes procesos relacionados con: análisis y diseños geotécnicos y estructurales, aspectos de construcción, aspectos de supervisión técnica, aspectos de vulnerabilidad y reducción de riesgos en los sistemas de agua potable y saneamiento básico que se desarrollen en la República de Colombia, con el fin de garantizar su seguridad, durabilidad, funcionalidad, calidad, eficiencia, sostenibilidad y redundancia dentro de un **Nivel de Complejidad** determinado.

El presente Título incluye las siguientes actividades que forman parte de los aspectos complementarios:

- Aspectos geotécnicos
- Aspectos estructurales en tuberías de acueducto y alcantarillado
- Aspectos de construcción
- Interventoría
- Vulnerabilidad y reducción de riesgos

G.1.2 DEFINICIONES

Acarreo libre: es la distancia a la cual el constructor debe transportar el material, siendo éste aprovechable producto de excavación o proveniente de explotación de bancos de préstamo lateral.

Aditivo: material diferente al cemento, a los agregados o al agua que se añade al concreto, antes o durante la mezcla para modificar una o varias de sus propiedades sin perjudicar su durabilidad ni su capacidad de resistir esfuerzos.

Adoquín: pequeña estructura de concreto (similar al ladrillo) que sirve como capa de rodadura.

Agregado: conjunto de partículas inertes, naturales o artificiales, tales como arena, grava, triturado, etc., que al mezclarse con el material cementante y el agua produce el concreto.

Amenaza: peligro latente asociado con la potencial ocurrencia de un evento de origen natural o antrópico que puede manifestarse en un sitio específico y en un tiempo determinado produciendo efectos adversos en un sistema. Se expresa matemáticamente como la probabilidad de ocurrencia de un evento de una cierta intensidad, en un sitio específico y durante un tiempo de exposición definido.

Ancho de transición: es el ancho de zanja máximo efectivo en el cual ocurre la transición hacia unas condiciones de instalación en terraplenes con proyección positiva. Se determina igualando la carga de zanja con la carga de transición y resolviendo para B_d .

Asentamiento: hundimiento o descenso del nivel de una estructura debido a la consolidación y deformación del suelo o roca de cimentación.

Asfalto: producto proveniente de la refinación del petróleo que da la función de liga en el pavimento.

Base: capa del pavimento, en material granular que absorbe la mayor parte de los esfuerzos generados por el tráfico.

Bitumen: asfalto

Bordillo: *sin.* Sardinel. Reborde que aísla el andén o acera de la calzada.

Bulldozers: máquinas que consisten en una unidad tractora montada sobre orugas o ruedas convencionales, dotada de una pala delantera, accionada por lo general hidráulicamente, aunque existen modelos accionados por cables.

Cama de soporte: es la capa de material que sirve directamente de apoyo a la tubería.

Caminos de acceso: caminos carreteables que comunican la vía pública más próxima con la zona escogida para almacenar materiales o construir los campamentos principales y tránsito de la obra.

Caminos de construcción: todas las vías carreteables o peatonales que se requieren para llegar, desde los caminos de acceso o desde los campamentos, a los diferentes frentes de trabajo de la obra. En esta definición se incluyen las vías peatonales o carreteables existentes que sean utilizables por el constructor para efectos de acceso a los frentes de trabajo.

Carga de transición: carga generada sobre la tubería para el ancho de transición y se calcula utilizando la fórmula de carga para instalaciones en rellenos con proyección positiva.

Cargas físicas especiales: casos en los que la tubería está afectada bajo cargas físicas no convencionales.

CBR: medida de la capacidad al punzonamiento de un material para bases o subases de vías.

CCP: tubería tipo cilindro de acero con refuerzo de varilla y revestimiento interior y exterior en mortero de cemento, fabricada de acuerdo con la norma AWWA C303.

Cemento asfáltico: asfalto en estado sólido

Cimentación de la tubería: Material de base en la parte inferior de la zanja en contacto con el suelo natural. Puede no requerirse dependiendo de las condiciones del suelo en cada sitio específico.

Colector: pozo construido desde la superficie del terreno hasta la tubería de alcantarillado, que es empleado en la inspección y mantenimiento de la red.

Concreto ciclópeo: mezcla de concreto simple y agregado grueso seleccionado con tamaños entre 15 y 30 cm, utilizada para la construcción de elementos estructurales que trabajan predominantemente a compresión.

Concreto estructural: el que cubre el concreto simple y concreto reforzado ; utilizado para propósitos estructurales.

Concreto reforzado: material constituido por un concreto que tiene un refuerzo consistente en barras de acero corrugado, estribos transversales o mallas electrosoldadas, colocadas principalmente en zonas de tracción, y en cuantías superiores a las mínimas especificadas.

Concreto simple: concreto que no tiene acero de refuerzo, o lo tiene en cuantías menores a las mínimas del concreto reforzado.

Concreto: mezcla homogénea de material cementante, agregados inertes y agua, con o sin aditivos.

Condiciones de instalación en terraplen: condiciones de instalación de tuberías en las cuales la tubería se cubre por encima de la superficie natural del terreno o cuando se abre una zanja en suelo natural lo suficientemente ancha para que la fricción lateral de la pared de la zanja no afecte la carga actuante sobre la tubería. Se consideran dos situaciones que son la instalación en terraplenes con proyección positiva y la instalación en terraplenes con proyección negativa.

Condiciones de instalación en zanja: condiciones de instalación de tuberías en las cuales la tubería se coloca en una zanja relativamente angosta excavada en suelo natural y recubierta por suelo de relleno hasta la superficie original del terreno.

Condiciones de túnel: método constructivo mediante el cual se instalan tuberías en túneles existentes o en el cual la tubería es hincada en el suelo mediante gatos hidráulicos.

Cortadora: el equipo básico consiste en una unidad de corte con tres extensiones ajustables correspondientes para tubos con diámetro de 3" a 6". Se pueden solicitar extensiones, una por cada dos pulgadas adicionales y los eslabones rígidos necesarios con el objeto de ampliar su capacidad de corte hasta 24".

CPM: método para determinar la duración de actividades, el manejo de los recursos, e identificar las actividades críticas en el tiempo, dentro de una programación de un proyecto.

Curado: incluye todas las operaciones que mejoran la hidratación del concreto después que haya fraguado, y que lo hacen más fuerte e impermeable, si son realizadas a tiempo y en la forma adecuada.

Demoliciones y traslados: consiste en la demolición de estructuras o edificaciones, sardineles, andenes y pavimento en concreto rígido, existentes en las zonas donde se han de construir las obras del proyecto y la remoción, cargue, transporte y disposición o el desecho de los materiales demolidos en áreas aprobadas por el interventor.

Descapote: consiste en la limpieza del terreno y el desmonte necesario, de las áreas que ocuparán las obras del proyecto, las zonas aledañas a caminos y relacionadas con el proyecto determinadas por el interventor. El desmonte y limpieza se hace en áreas cubiertas por bosque, pasto, cultivos, remoción de raíces y en demoliciones o retiro de estructuras que obstaculicen la ejecución de las obras.

Diseño para estados límites: el método de diseño para estados límites requiere la definición de todos los estados límites que son relevantes para una estructura en particular, seguido del diseño de la estructura, de manera que se mantenga un nivel de probabilidad aceptable de que no se exceda uno de los límites establecidos.

Emulsión asfáltica: composición de asfalto, agua y emulgente que permite hacer mezclas en frío.

Escarificación: proceso mediante el cual se remueven los centímetros superiores de una capa para que se adhiera a la siguiente.

Estados límites: una condición cercana al límite estructural útil. Se pueden considerar normalmente los siguientes tres tipos de estados límites para el diseño :

- Estado límite de resistencia, el cual proporciona seguridad ante cargas extremas
- Estado límite de servicio, el cual debe garantizar un comportamiento adecuado bajo las cargas de servicio
- Estado límite elástico, el cual define la incursión del material en el comportamiento inelástico

Estudio geotécnico: se define como estudio geotécnico todas las actividades descritas en G.2. y las actividades complementarias definidas en las *Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente, NSR - 98, Ley 400 de 1997 y Decreto 33 de 1998* o los decretos que lo reemplacen o complementen, cuyo objetivo sea garantizar la estabilidad de las obras lineales para la instalación de ductos y redes.

Excavación no soportada: aquella cuyos taludes no tienen ningún elemento estructural fuera del material térreo y deriva su estabilidad de su geometría, además de tratamientos de drenaje y de elementos superficiales de protección.

Excavación soportada con entibamiento o entibada: excavación confinada por elementos estructurales delgados, soportados externamente al talud por elementos estructurales rígidos, que proveen estabilidad al transmitir los empujes bien al piso de la excavación (puntales) o a la pared opuesta (codales), equilibrándolos. Provee estabilidad la resistencia y rigidez estructural del sistema.

Excavación soportada con muros: excavación con taludes soportados con elementos estructurales, normalmente más rígidos que el material térreo, que derivan su estabilidad bien de su propio peso (muros de gravedad en concreto, mampostería, gaviones, tierra reforzada, etc.), o de su peso y resistencia estructural (muros en voladizo, muros de contrafuertes, etc.).

Excavación soportada con pantallas: excavación soportada con un elemento estructural delgado o pantalla, usualmente colocado a mayor profundidad que la máxima de la excavación y combinado con

elementos de anclaje dentro del suelo y/o sistemas de soporte, que proveen estabilidad por su confinamiento a la masa térrea, por interacción con la misma y por su resistencia estructural. La pantalla

puede ser de concreto colocado en una excavación con bentonita, de tablestacas metálicas o de madera, de pilotes tangentes o secantes, etc.

Excavación soportada con refuerzo: excavación con taludes soportados solamente con elementos de refuerzo del material térreo como tensores, pernos, inclusiones, apuntillamientos o agujas, que incrementan la resistencia y rigidez del material térreo.

Excavación soportada: aquella cuyos taludes tienen elementos estructurales externos que garantizan su estabilidad, además de tratamientos de drenaje y de elementos superficiales de protección, si es el caso.

Excavación, dimensiones: se define como profundidad H de una excavación a la distancia vertical máxima entre la superficie del terreno antes de excavar y el fondo de la excavación.

Excavación: retiro permanente o temporal de una masa de material térreo con el objeto de instalar un ducto, construir una obra, modificar la topografía del terreno, explotar materiales, etc.

Humedad: relación existente entre el peso del agua y el peso de los sólidos en un suelo. Se expresa en porcentaje.

Imprimación: proceso de riego de un producto asfáltico sobre una capa para impermeabilizarla.

Instalación en terraplenes con proyección negativa: las condiciones de instalación de tuberías en estos rellenos se define como aquella en la cual la parte superior de la tubería se coloca por debajo de la superficie original del terreno adyacente o del relleno compactado, en una zanja que es angosta con respecto al tamaño de la tubería y a la profundidad del recubrimiento y cuando el material natural tiene resistencia suficiente para que la forma de la zanja pueda mantenerse durante la colocación del terraplén. La zanja por encima de la tubería se rellena con material suelto compresible. El relleno se construye hasta el nivel final mediante métodos convencionales.

Instalación en terraplenes con proyección positiva: las condiciones de instalación de tuberías en estos rellenos se define como aquella en la cual la parte superior de la tubería está por encima de la superficie original del terreno natural o del terreno compactado y luego se cubre con material de relleno. También corresponde a instalaciones en zanjas anchas (Bd mayor o igual que el ancho de transición)

Instalación en terraplenes con zanja inducida: la condición de instalación en terraplenes de dicho comportamiento corresponde a aquella en la cual inicialmente la instalación es equivalente a la de proyección positiva, luego se construye y compacta el relleno hasta una altura determinada inferior a la altura final y al menos un diámetro de tubería por encima de la parte superior propuesta para la tubería, luego se excava una zanja justo por encima de la tubería hasta una profundidad muy cercana a la parte superior de la tubería, la cual se rellena posteriormente con material suelto compresible y finalmente se completa la construcción y compactación del relleno.

Intervención: modificación intencional de las características intrínsecas de un sistema, con el fin de reducir su vulnerabilidad o de las características de un fenómeno, con el fin de reducir su grado de amenaza. La intervención pretende la modificación de los factores de riesgo.

Interventor: profesional, ingeniero civil, que representa al propietario durante la construcción de la obra, bajo cuya responsabilidad se verifica que ésta se adelante de acuerdo con todas las reglamentaciones correspondientes, siguiendo los planos, diseños y especificaciones realizados por los diseñadores.

Junta de contracción: también llamada junta parcial, es utilizada para reducir la aparición de esfuerzos internos causada por la restricción a los movimientos generados por la retracción de fraguado, flujo plástico, o variaciones de la temperatura en elementos de concreto simple.

Junta de expansión: separación entre porciones adyacentes a la estructura de concreto, localizada en un lugar establecido durante el diseño de la estructura.

Material de ataque: material que se coloca entre la cama de soporte y la línea media de la tubería

Material de relleno: material seleccionado y aprobado por el interventor. Este material podrá ser el material de la excavación siempre y cuando este sea tierra, arcilla, conglomerado fino, arena o puede ser material de préstamo con previa aprobación del interventor.

Materiales especiales: materiales no convencionales que según las especificaciones de los diseños son necesarios emplear en obra.

Método Marshall de diseño de mezclas: proceso de adición de asfalto a una granulometría de material para buscar la resistencia mecánica, estabilidad y flujo óptimos.

Métodos racionales: diseños que se basan en el cálculo de esfuerzos y deformaciones de los materiales de pavimentos bajo el efecto de las cargas y su admisibilidad. Otras metodologías están basadas en el empirismo.

Módulo de finura: índice utilizado para describir si el agregado es fino o grueso.

Nivel de complejidad del sistema: ver literal A.3

Pavimento articulado: pavimento en que la capa de rodadura está conformada por adoquines.

Pavimento: capas de materiales granulares o mejoradas que van sobre la subrasante.

Pedraplenes: construcción de rellenos con material rocoso o piedras, en los sitios indicados en los planos señalados.

Plano crítico: aquel que pasa por la parte superior de la tubería en su posición original (ver figura G.3.1)

Plano de iguales asentamientos: aquel en el cual la deformación unitaria total en el suelo por encima de la tubería se iguala a aquella en el relleno lateral más el asentamiento del plano crítico. (ver figura G.3.1)

Porcentaje de vacíos: es la relación existente entre el volumen de vacíos y el volumen de sólidos en una muestra de suelo o agregado.

Presión externa: corresponde a la presión ejercida por fuera del tubo en forma radial por presiones hidrostáticas, atmosféricas, de colapso y las de relleno en cuando la localización del tubo es bajo tierra.

Presión interna: corresponde a la máxima presión interna a la que estará sometida la tubería durante su vida útil y que resulta directamente del diseño hidráulico y a la sobrepresión máxima que pueda llegar a generarse por efectos de golpes de ariete en el sistema.

Préstamos: se refieren a los materiales adicionales que se necesitan para la terminación de los terraplenes y rellenos proyectados.

Prisma exterior de suelo: suelo de relleno adyacente a los planos verticales en los dos lados de la tubería y de ancho infinito.

Prisma interior de suelo: prisma de suelo de relleno directamente por encima de la tubería y limitada por planos verticales a los lados de la tubería.

Relleno final: material que se coloca por encima del relleno inicial.

Relleno inicial: material que se coloca desde la línea media de la tubería hasta 200 mm por encima de la parte superior de la tubería.

Requisitos prácticos: son los requisitos que se deben adoptar según criterios de seguridad y economía para un óptimo diseño.

Riego de liga: consiste en el suministro, transporte, calentamiento y aplicación uniforme de un producto asfáltico sobre un pavimento (rígido o flexible) existente o sobre una base asfáltica nueva.

Riesgo: potenciales consecuencias económicas, sociales o ambientales que se pueden generar como resultado de los daños o la pérdida de función de un sistema durante un tiempo de exposición definido. Se expresa matemáticamente, como la probabilidad de exceder una pérdida en un sitio y durante un lapso determinado, resultado de relacionar la vulnerabilidad del sistema y la amenaza a la cual se encuentra sometido.

Sardinela: Sinónimo de Bordillo, Reborde estructural en concreto que separa el andén o acera de la calzada.

Sierra manual de marco: consiste en una hoja de metal duro, longitud 800 mm, 3 dientes por pulgada. Marco tubular de acero con palanca de tensionado de aproximadamente 895 mm de largo. Peso 0.86 Kg.

Sistema: grupo de elementos, componentes y métodos operacionales cuya función es la captación, conducción, tratamiento y distribución de agua potable y/o el saneamiento básico.

Sobrecarreo: consiste en la ejecución de las operaciones necesarias para el transporte del material, desde el punto final de la distancia de acarreo libre, hasta el lugar de disposición final del material.

Subbase: capa del pavimento (recebo) que contribuye a disipar esfuerzos y evita que la subrasante contamine las capas superiores.

Subrasante: superficie superior de todos los cortes y rellenos donde se funda el pavimento.

Supervisión técnica: verificación de la sujeción de la construcción a los planos, diseños y especificaciones realizadas por el diseñador. La supervisión técnica puede ser realizada por el interventor, cuando a voluntad del propietario se contrate una interventoría de la construcción. (Ver numeral A.8). Esta actividad hace parte integral de los trabajos de interventoría.

Supervisor Técnico: profesional, ingeniero civil, bajo cuya responsabilidad se realice la supervisión técnica. Parte de las labores de supervisión puede ser delegada por el supervisor en personal técnico auxiliar, el cual trabaja bajo su dirección y su responsabilidad. La supervisión técnica puede ser realizada por el mismo profesional que efectúa la interventoría.

Terraplenes: consiste en la escarificación (eliminación de vegetación, raíces y tierra vegetal), nivelación y compactación del terraplen o afirmado en donde haya que colocarse un relleno nuevo, previa ejecución de las obras de drenaje, y humedecimiento o secamiento, conformación y compactación de los materiales de relleno.

Tolerancias: se refiere a las variaciones admisibles en las distancias de los cortes, terraplenes y rellenos: profundidad y ancho con respecto a los diseños en planos.

Trabajos preliminares: comprende todas las actividades preliminares necesarias para la ejecución de las obras, tales como demoliciones, campamentos, almacén, oficina, cerramientos, instalaciones provisionales del servicio de acueducto, energía, teléfono, sanitarios, limpieza y descapote del terreno y la localización de las obras.

Tubería flexible: los materiales de tuberías que clasifican como flexibles son aquellos que derivan su capacidad de carga ante las cargas del terreno a partir de la interacción de la tubería flexible y del suelo circundante el cual trabaja por la deflexión de la tubería hasta el punto de equilibrio bajo carga.

Tubería rígida: los materiales de tuberías que clasifican como rígidos son aquellos que derivan una parte substancial de su capacidad de carga ante las cargas del terreno a partir de la resistencia estructural del elemento asociada a la rigidez misma de la pared de la tubería.

Tuberías enterradas: aquellas en las cuales las tuberías quedan instaladas en pequeñas zanjas completamente enterradas en suelo natural o relativamente pasivo.

Tuberías superficiales: aquellas en las cuales las tuberías se apoyan sobre suelos relativamente superficiales y en las que la parte superior del tubo se proyecta por encima de la superficie natural del terreno, y luego es cubierta por un terraplén de relleno.

Vulnerabilidad: predisposición intrínseca de un sistema de ser afectado o de ser susceptible a sufrir daños o pérdida de su función, como resultado de la ocurrencia de un evento que caracteriza una amenaza.

W_{OPM}: contenido de agua óptimo para alcanzar la máxima densidad seca.

G.1.3 PROCEDIMIENTO GENERAL DE DISEÑO, DE CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE LOS SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO

Toda acción relacionada con el diseño, la construcción, la operación, el mantenimiento y/o la supervisión técnica de los sistemas de agua potable y saneamiento básico, debe seguir los procedimientos generales presentados en los Títulos B, D, E, F de este Reglamento. Además de los requisitos allí establecidos deben tenerse en cuenta las disposiciones del presente Título G.

CAPÍTULO G.2.

G.2. ASPECTOS GEOTÉCNICOS

G.2.1 GENERALIDADES

G.2.1.1 ALCANCE

El propósito de este capítulo es fijar los criterios básicos y requisitos mínimos que deben reunir los diferentes procesos relacionados con los análisis y diseños geotécnicos correspondientes a los sistemas de agua potable y saneamiento básico que se desarrollen en la República de Colombia, con el fin de garantizar su seguridad, durabilidad, funcionalidad, calidad, eficiencia, sostenibilidad y redundancia dentro de un **Nivel de Complejidad** determinado.

El presente capítulo incluye las siguientes actividades que forman parte de los aspectos geotécnicos:

- estudios geotécnicos
- investigación del subsuelo
- diseño geotécnico
- rellenos y compactación de zanjas y terraplenes
- demoliciones y disposición de materiales
- vías y pavimentos
- Otros

G.2.1.2 NOMENCLATURA DE VARIABLES

c'	= cohesión efectiva	Mpa
C_c	= coeficiente de compresión	-
C_e	= coeficiente de expansión	-
C_r	= coeficiente de recompresión	-
C_u	= cohesión no drenada	Mpa
c_v	= coeficiente de consolidación	-
D_r	= densidad relativa	Kg/m^3
E_u	= módulo drenado	Mpa
e	= relación de vacíos	-
E'	= módulo efectivo	Mpa
F_s	= factor de seguridad	-
ϕ_u	= ángulo resistencia no drenada	°
G	= módulo de cortante	Mpa
γ_d	= peso unitario seco	N/m^3
G_s	= peso específico de sólidos	N/m^3
γ_t	= peso unitario total	N/m^3
IP	= índice plástico	-
K	= módulo de subrasante	Mpa
k	= permeabilidad	cm/sg^2
K_a	= coeficiente presión activa	-
K_o	= coeficiente presión reposo	-
K_p	= coeficiente presión pasiva	-
M_d	= módulo de deformación	Mpa
m_v	= módulo de compresibilidad	Mpa

n	= porosidad	-
v'	= relación de Poisson efectiva	-
v_u	= relación de Poisson no drenado	-
R_c	= relación de compresión	-
R_e	= relación de expansión	-
σ	= esfuerzo normal total	Mpa
σ'	= esfuerzo normal efectivo	Mpa
S_r	= saturación	%
τ	= esfuerzo cortante	Mpa
u o u_w	= presión de agua	Mpa
u_a	= presión de aire	Mpa
w	= humedad	%
w_c	= límite de contracción	%
w_L	= límite de líquido	%
w_p	= límite plástico	%

G.2.1.3 NORMAS TÉCNICAS REFERENCIADAS

Las siguientes son las normas técnicas del Instituto Colombiano de Normas Técnicas (ICONTEC), de la Sociedad Americana para Ensayos de Materiales (ASTM), de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (Normas NLT), del Centro de estudios de carreteras de Madrid (Ensayos de carreteras. TI), de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS), a las cuales hace referencia el numeral G.2 de este Reglamento, haciendo parte integral del mismo.

G.2.1.3.1 Normas Técnicas Colombianas

NTC 77	Ingeniería Civil y Arquitectura. Método para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos.
NTC 93	Ingeniería Civil y Arquitectura. Determinación de la resistencia al desgaste de agregados gruesos mayores de 19 mm, utilizando la Máquina de los Angeles.
NTC 98	Ingeniería Civil y Arquitectura. Determinación de la resistencia al desgaste de agregados gruesos hasta de 37.5 mm utilizando la Máquina de los Angeles.
NTC 121	Ingeniería Civil y arquitectura. Cemento Portland. Especificaciones físicas y mecánicas.
NTC 126	Ingeniería Civil y Arquitectura. Método de ensayo para determinar la solidez de los agregados con el uso del sulfato de sodio o sulfato de magnesio.
NTC 174	Ingeniería Civil y Arquitectura. Especificaciones de los agregados para concreto.
NTC 1493	Suelos. Ensayo para determinar el límite plástico y el índice de plasticidad. (ASTM D 4318)
NTC 1494	Suelos. Ensayo para determinar el límite líquido. (ASTM D 4318)
NTC 1495	Suelos. Ensayo para determinar el contenido de humedad. (ASTM D 2216)
NTC 1503	Suelos. Ensayo para determinar los factores de contracción. (ASTM D 427)
NTC 1504	Suelos. Clasificación para propósitos de ingeniería. (ASTM D 2487)
NTC 1527	Suelos. Ensayo para determinar la resistencia a la compresión confinada. (ASTM D 2166)
NTC 1528	Suelos. Ensayo para determinar la masa unitaria en el terreno. Método del balón de caucho. (ASTM D 2167)
NTC 1667	Determinación de la masa unitaria en el terreno por el método del cono de arena. (ASTM D 1556)
NTC 1886	Suelos. Determinación de la humedad, ceniza y materia orgánica. (ASTM D 2974)
NTC 1917	Suelos. Determinación de la resistencia al corte. Método de corte directo (CD). (ASTM D 3080)
NTC 1936	Suelos. Determinación de la resistencia en rocas. Método de la compresión triaxial. (ASTM D 2664)

NTC 1967	Suelos. Determinación de las propiedades de consolidación unidimensional. (ASTM D 2435)
NTC 1974	Suelos. Determinación de la densidad relativa de los sólidos. (ASTM D 854)
NTC 2017	Ingeniería Civil y Arquitectura. Adoquines de hormigón.
NTC 2041	Suelos cohesivos. Determinación de la resistencia. Método de compresión triaxial. (ASTM D 2850)
NTC 2121	Suelos. Obtención de muestras para probetas de ensayo. Método para tubos de pared delgada. (ASTM D 1587)
NTC 2122	Suelos. Ensayo de la relación de soporte. Suelos compactados. (ASTM D 1833)
NTC 2587	Tuberías metálicas. Tuberías de hierro dúctil. Acoples y accesorios para líneas de tuberías de presión.
G.2.1.3.2	Normas Técnicas ASTM
C 39	Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens.
C 78	Standard test method for flexural strength of concrete (using simple beam with third-point loading)
C 116	Standard test method for compressive strength of concrete using portions of beams broken in flexure.
C 143	Standard test method for slump of hydraulic cement concrete.
C 293	Standard test method for flexural strength of concrete (using simple beam with center-point loading)
C 535	Standard test method for resistance to degradation of large-size coarse aggregate by abrasion and impact in the Los Angeles Machine.
C 873	Standard test method for compressive strength of concrete cylinders cast in place in cylindrical molds.
D 448	Standard classification for sizes of aggregate for road and bridge construction.
D 692	Standard specification for coarse aggregate for bituminous paving mixtures.
D 995	Standard specification for mixing plants for hot-mixed, hot-laid bituminous paving mixtures.
D 1190	Standard specification for concrete joint sealer, hot-applied elastic type.
D 1559	Standard test method for resistance to plastic flow of bituminous mixtures using Marshall Apparatus.
D 2419	Standard test method for sand and equivalent value of soils and fine aggregate.
D 2940	Standard specification for graded aggregate material for bases or subbases for highways or airports.
D 3042	Standard test method for insoluble residue in carbonate aggregate.
D 3515	Standard specification for hot-mixed, hot laid bituminous paving mixtures.
D 3581	Standard specification for joint sealant, hot-applied, jet-fuel-resistant type, for portland concrete and tar-concrete pavements.
G.2.1.3.3	Normas Técnicas AASHTO
M 6 - 65	Fine aggregate of portland cement concrete.
M 31-77	Deformed and plain billet-steel bars for concrete reinforcement.
M 80-77	Coarse aggregate for portland cement concrete.
M 85-75	Portland Cement.
M 153-70	Performed sponge rubber and cork expansion joint fillers for concrete paving and structural construction.
M 173-60	Concrete joint, sealer, hot-poured elastic type.
M 213-74	Performed expansion joint fillers for concrete paving and structural construction.
T 22 - 74	Compressive strength of cylindrical concrete specimens.
T 23 - 76	Making and curing concrete compressive and flexural strength test specimens in the field.
T 24 - 68	Obtaining and testing drilled cores and sawed beams of concrete.
T 32 - 70	Sampling and testing brick.
T 97 - 76	Flexural strength of concrete (using simple beam with third-point loading)

T 104-77	Soundness of aggregate by use of sodium sulfate or magnesium sulfate.
T 119-74	Slump for portland cement concrete.
T 148-49	Measuring length of drilled concrete cores.
T 176-73	Plastic fines in graded aggregates and soils by use of the sand equivalent test.
T 209-74	Maximum Specific Gravity of bituminous paving mixtures.

G.2.1.3.4 Normas Técnicas NLT

122	Peso específico a 25° C.
124	Penetración a 25° C, 0.01 mm, 100 gr, 5 sg.
125	Punto de ablandamiento (anillo y bola) ° C
126	Ductilidad a 25° C, cm.
136	Punto de chispa, ° C.

G.2.1.4 ALCANCE

Este capítulo establece los criterios básicos para el diseño y construcción de excavaciones lineales para la instalación de ductos y redes y se definen los criterios para la clasificación, investigación del subsuelo, análisis de información para el diseño de excavaciones lineales para la instalación de ductos y redes. Este capítulo es complementario al Título H, Estudios Geotécnicos, de las *Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente, NSR - 98*, Ley 400 de 1997 y Decreto 33 de 1998 o los decretos que lo reemplacen o complementen e implementen.

El diseño y la construcción de cimentaciones superficiales, profundas, estructuras de contención y otras obras geotécnicas diferentes a las excavaciones lineales para ductos y redes deben realizarse de acuerdo con lo estipulado en el Título H de las *Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente, NSR - 98*, de 1997 y Decreto 33 de 1998 o los decretos que lo reemplacen o complementen.

G.2.1.5 OBLIGATORIEDAD

El presente título es de obligatorio cumplimiento en todas aquellas obras o trabajos de excavación destinados a la instalación de ductos o redes correspondientes a todos los **Niveles de Complejidad del Sistema**.

G.2.1.5.1 Firma de los estudios

Los estudios geotécnicos deben ser firmados exclusivamente por ingenieros civiles, titulados, matriculados y con tarjeta profesional vigente, facultados para ese fin según lo dispuesto en el Título A, capítulo A.9.

G.2.1.5.2 Cumplimiento y responsabilidad

El cumplimiento de este capítulo, no exime al ingeniero geotecnista de realizar todas las investigaciones y los análisis adicionales necesarios para garantizar un adecuado conocimiento del subsuelo, la estabilidad de la excavación, las construcciones vecinas, de la infraestructura preexistente y de las obras a construir.

G.2.2 ESTUDIO GEOTÉCNICO

G.2.2.1 DEFINICIONES

Se define como estudio geotécnico el conjunto de actividades que comprenden la investigación del subsuelo, los análisis y recomendaciones de ingeniería necesarios para el diseño y construcción de las obras en contacto con el suelo, de tal forma que se garantice un comportamiento adecuado de la construcción y se protejan las vías, instalaciones de servicios públicos, predios y construcciones vecinas.

G.2.2.1.1 Investigación del subsuelo

Comprende el estudio y el reconocimiento del origen geológico, la exploración y los ensayos de campo y laboratorio necesarios para cuantificar las características físico, mecánicas e hidráulicas del subsuelo.

G.2.2.1.2 Análisis y recomendaciones

Consiste en la interpretación técnica conducente a la caracterización del subsuelo y la evaluación de posibles mecanismos de falla para suministrar los parámetros y las recomendaciones necesarias para el diseño y la construcción de las cimentaciones y otras obras relacionadas con el subsuelo.

G.2.2.2 TIPOS DE ESTUDIO

G.2.2.2.1 Estudio geotécnico preliminar

Se define como estudio geotécnico preliminar el trabajo realizado para aproximarse a las características geotécnicas de un terreno, con el fin de establecer las condiciones que limitan su aprovechamiento, los potenciales problemas que puedan presentarse, los criterios geotécnicos y parámetros generales para la elaboración de un proyecto.

1. Contenido

El estudio geotécnico preliminar debe presentar en forma general el entorno geológico, las características del subsuelo y las recomendaciones geotécnicas para la elaboración de proyectos, la zonificación del área de acuerdo con sus características y amenazas geotécnicas, los criterios generales de cimentación, los niveles de complejidad y obras de adecuación del terreno .

2. Obligatoriedad del estudio geotécnico preliminar

El estudio geotécnico preliminar no es de obligatoria ejecución; se considera conveniente en casos de proyectos especiales, o de magnitud considerable, en los que puede orientar el proceso inicial de planeamiento. Su realización no puede, en ningún caso, reemplazar al estudio geotécnico definitivo.

G.2.2.2.2 Estudio geotécnico definitivo

Se define como estudio geotécnico definitivo, el trabajo realizado para un proyecto específico, en el cual el ingeniero debe consignar todo lo relativo a las condiciones físico - mecánicas del subsuelo y las recomendaciones particulares para el diseño y construcción de las obras relacionadas con el subsuelo, de acuerdo con lo contenido en el presente Reglamento.

El estudio geotécnico definitivo debe contener como mínimo los siguientes aspectos:

- Del proyecto: nombre, plano de localización, plano topográfico, objetivo del estudio, descripción general del proyecto y de los tipos y magnitudes de las excavaciones propuestas.
- De las zonas aledañas: tipo y localización espacial de instalaciones de servicios públicos (vías, acueducto, alcantarillado, energía, teléfonos, gas, zonas verdes, etc.). Tipo, localización y sistema de cimentación de edificaciones vecinas, hasta una distancia igual a la zona de influencia de la excavación.
- Del subsuelo: resumen de la investigación adelantada, morfología del terreno, geología, descripción visual de los diferentes materiales térreos encontrados con sus características físico - mecánicas y posiciones de niveles de aguas subterráneas, con una interpretación de su influencia en el proyecto estudiado.
- De los análisis geotécnicos: resumen de los análisis y justificación de los criterios geotécnicos adoptados que incluyan los aspectos contemplados en el literal G.2.4 de diseño geotécnico.
- De las recomendaciones para construcción: alternativas de procedimientos de construcción, características generales de los elementos estructurales, verificaciones y controles que se deben seguir, todas las recomendaciones para la adecuación del terreno, para las etapas constructivas en los movimientos de tierra, para disposición de materiales sobrantes, controles de compactación,

criterios para protección de drenajes naturales y procedimientos constructivos especiales para garantizar la estabilidad de la obra y las instalaciones, predios y edificaciones vecinas a la misma.

- Anexos: en el informe geotécnico se deben incluir planos de localización regional y local del proyecto, ubicación de los trabajos de campo, registros de perforación, resultados de ensayos in-situ y laboratorio y resumen de memorias de cálculo. Además, planos, esquemas, dibujos, gráficos, fotografías, y todos los aspectos que se requieren para ilustrar adecuadamente el estudio.

G.2.2.2.3 Estudio de estabilidad de laderas

Donde las condiciones geológicas, hidráulicas y de pendiente lo exijan, se deben realizar estudios particulares de estabilidad de laderas de acuerdo con la sección H.4.4. de las *Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente, NSR - 98*, Ley 400 de 1997 y Decreto 33 de 1998 o los decretos que lo reemplacen o complementen, cuando no se hayan incluido como parte de los estudios geotécnicos preliminares o definitivos.

Cuando las entidades municipales o regionales hayan definido las zonas en las cuales sean de obligatoria ejecución los estudios de estabilidad de laderas con base en las características geológicas, hidráulicas y de pendiente del terreno, el estudio geotécnico debe atender este aspecto.

G.2.3 INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO

G.2.3.1 CLASIFICACIÓN DE EXCAVACIONES

Con el fin de determinar el nivel de precisión y detalle del estudio del subsuelo y del diseño geotécnico las excavaciones se clasifican de acuerdo con el tipo de suelo, el grado de dificultad de la misma y la variabilidad del subsuelo.

G.2.3.1.1 Clasificación por tipo de suelo

Se clasifica el tipo de suelo de acuerdo con los siguientes criterios :

- Suelo Tipo 1: suelo de grano fino de consistencia dura $C_u > 200$ KPa posiblemente preconsolidado y fisurado. Pendiente del terreno inferior a 10° y sin presencia de acuíferos confinados.
- Suelo Tipo 2: suelo de grano fino de consistencia media $50 < C_u < 200$ KPa con pendiente del terreno inferior a 10° y sin presencia de acuíferos confinados.
- Suelo Tipo 3: suelo de grano fino de consistencia blanda $C_u < 50$ Kpa con pendiente del terreno inferior a 10° y sin presencia de acuíferos confinados.
- Suelo Tipo 4: suelo del tipo 1, 2, ó 3 con presencia de acuíferos confinados.
- Suelo Tipo 5: suelo del tipo 1, 2, ó 3 con pendiente del terreno superior a 10° con o sin acuíferos.
- Suelo Tipo 6: suelo granular (arena, grava) en terreno plano o en pendiente sin presencia de acuíferos confinados o libres.
- Suelo Tipo 7: suelo del tipo 6 con presencia de acuíferos confinados o libres.
- Suelo Tipo 8: suelo con apreciable grado de cementación, rocas blandas o fisuradas y alteradas.
- Suelo Tipo 9: Roca poco fisurada o alterada.

G.2.3.1.2 Clasificación de las excavaciones según el grado de dificultad

El grado de dificultad de la excavación se define de acuerdo con la Tabla G.2.1 en la que se tiene en cuenta la profundidad de la excavación y el tipo de suelo.

TABLA G.2.1
Tabla de grado de dificultad de las excavaciones

PROFUNDIDAD DE LA EXCAVACIÓN (m)					
TIPO DE SUELO	H < 2.5	2.5 < H < 4	4 < H < 7.5	7.5 < H < 10	H > 10
1	Bajo	Medio	Medio	Medio Alto	Medio Alto
2	Bajo	Medio	Medio Alto	Alto	Alto
3	Medio	Medio Alto	Alto	Alto	Alto
4	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto
5	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto
6	Medio	Medio	Medio Alto	Alto	Alto
7	Medio	Medio Alto	Alto	Alto	Alto
8	Bajo	Bajo	Medio	Medio Alto	Medio Alto
9	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Medio

G.2.3.1.3 Clasificación por variabilidad del subsuelo

Para las obras lineales objeto de este Reglamento se debe zonificar la obra escogiendo zonas homogéneas de variabilidad del subsuelo de acuerdo con las *Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente, NSR - 98, Ley 400 de 1997 y Decreto 33 de 1998* o los decretos que lo reemplacen o complementen, se establecen las siguientes indicaciones generales para definir si la variabilidad del subsuelo es baja, media o alta.

1. Variabilidad baja

Corresponden a subsuelos donde no existen variaciones importantes entre perforaciones. Están originados en formaciones geológicas simples, presentan materiales de espesores y características mecánicas aproximadamente homogéneas, cubren grandes áreas con materiales uniformes tales como depósitos lacustres, llanuras aluviales, terrazas de ríos en sus cursos medio a bajo, depósitos de inundación, suelos residuales en zonas de pendiente baja y uniforme, y en general suelos con pendientes transversales de hasta 10%.

2. Variabilidad alta

Corresponden a subsuelos donde existen variaciones importantes entre una perforación y otra. Están originadas en formaciones geológicas complejas, con alternancia de capas de materiales con orígenes y espesores diferentes, heterogeneidad dentro de las mismas capas, terrenos de topografía irregular con accidentes importantes tales como depósitos de ladera, fluidos de lodos y escombros, deltas de ríos y depósitos aluviales intercalados. Se incluyen en esta categoría de variabilidad los terrenos sometidos a alteraciones por deslizamientos, movimientos de tierra, botaderos, depósitos de escombros, minas y canteras, y suelos con pendientes transversales superiores a 50%.

3. Variabilidad media

Se define para situaciones intermedias entre variabilidad baja y alta, tales como terrazas y llanuras aluviales en su curso medio, desembocaduras de ríos y quebradas, suelos residuales relativamente complejos, suelos con pendientes transversales desde 10% hasta 50% y, en general, los depósitos no contemplados en las categorías anteriores.

G.2.3.2 INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO PARA ESTUDIOS DEFINITIVOS

G.2.3.2.1 Información previa

El ingeniero geotecnista debe recopilar y evaluar los datos disponibles sobre las características del sitio y del proyecto tal como se especifica a continuación :

1. Del sitio

Esta información debe ser obtenida por el ingeniero encargado del estudio geotécnico y comprende: geología, sismicidad, clima (lluvias, temperatura, y su secuencia), vegetación, existencia y características de las edificaciones vecinas y de las obras de infraestructuras y estudios anteriores. El ingeniero responsable del proyecto debe dar fe que conoce el sitio y lo ha visitado para efectos de la elaboración del estudio.

2. Del proyecto

La siguiente información debe ser suministrada al ingeniero geotecnista: levantamiento topográfico, urbanismo, niveles de excavación, redes de servicio y los demás aspectos que el ingeniero geotecnista estime necesarios para la realización del estudio.

G.2.3.2.2 Exploración de campo

Consiste en la ejecución de apiques, trincheras, perforaciones estáticas o dinámicas, u otros procedimientos exploratorios reconocidos en la práctica, con el fin de ejecutar pruebas directas o indirectas en el terreno y obtener muestras para ensayos de laboratorio. La exploración debe ser amplia y suficiente para garantizar un adecuado conocimiento del subsuelo hasta la profundidad de influencia de la excavación, según se establece a continuación.

G.2.3.2.3 Número mínimo de sondeos

El número mínimo de sondeos se define de acuerdo con la variabilidad del subsuelo y el **Nivel de Complejidad del Sistema** definido en el Título A. (Ver Tabla G.2.2.).

TABLA G.2.2
Número mínimo de sondeos

Grado de Dificultad	Variabilidad	NIVEL DE COMPLEJIDAD DEL SISTEMA			
		Baja	Media	Media Alta	Alta
Bajo y Medio	Variabilidad Alta	1 cada 300 m	1 cada 150 m	1 cada 100 m	1 cada 70 m
	Variabilidad Media	1 cada 400 m	1 cada 300 m	1 cada 200 m	1 cada 150 m
	Variabilidad Baja	1 cada 500 m	1 cada 400 m	1 cada 300 m	1 cada 200 m
Medio Alto	Variabilidad Alta	1 cada 200 m	1 cada 100 m	1 cada 66m	1 cada 46 m
	Variabilidad Media	1 cada 266 m	1 cada 200 m	1 cada 133 m	1 cada 100 m
	Variabilidad Baja	1 cada 333 m	1 cada 266 m	1 cada 200 m	1 cada 133 m
Alto	Variabilidad Alta	1 cada 150 m	1 cada 75 m	1 cada 50 m	1 cada 35 m
	Variabilidad Media	1 cada 200 m	1 cada 150 m	1 cada 100 m	1 cada 75 m
	Variabilidad Baja	1 cada 250 m	1 cada 200 m	1 cada 150 m	1 cada 100 m

En cualquier caso se debe realizar un sondeo intermedio cuando dos sondeos consecutivos presenten tipos de suelo que conduzcan a recomendaciones de excavación diferentes.

G.2.3.2.4 Profundidad de los sondeos

Para excavaciones, los sondeos deben llevarse al menos hasta la mínima profundidad de las siguientes alternativas, contada a partir de la superficie del terreno antes de excavar:

- Dos (2) veces la profundidad de excavación final prevista en el punto de sondeo.
- Aquella en la que el decremento de esfuerzos totales en el terreno causado por la excavación sea igual al 10% del esfuerzo total original en el fondo de la excavación, siempre que no se encuentre roca a profundidades inferiores.
- En los casos en que se encuentre roca firme o suelos muy duros a profundidades inferiores a las determinadas en los literales anteriores a) o b), pero superiores a la profundidad de excavación, en proyectos con nivel de complejidad media y baja los sondeos, podrán suspenderse al llegar a estos materiales; para proyectos con **Nivel de Complejidad alta**, los sondeos deben penetrar 2 m como mínimo.

d) En los casos en que se encuentre roca firme o suelos duros a profundidades inferiores a la profundidad de excavación, los sondeos deben llevarse como mínimo a 2 m por debajo del nivel de excavación.

G.2.3.2.5 Sondeos indirectos y directos

Todos los parámetros deducidos de ensayos indirectos in-situ (penetración estándar (SPT), penetración con cono mecánico, tornillos, ensayos geofísicos y otros) tendrán sustentación de calibración con ensayos directos in-situ (veleta de campo, presurímetro, aparato de corte en perforaciones, etc.) o con ensayos de laboratorio (corte directo, triaxial, etc.) en muestras del mismo sitio en por lo menos el 20% de los sondeos indirectos.

G.2.3.2.6 Estudios adicionales de aguas subterráneas

En excavaciones lineales hasta 100 m medidos desde éstas en las otras zonas colindantes con ellas, se debe investigar el régimen hidrogeológico en una franja de 100 m a cada lado de la excavación. En particular se debe determinar la existencia de estratos arenosos o de gravas, su comportamiento como acuíferos y su influencia en la excavación. Si existen estos estratos de materiales granulares dentro de la profundidad de investigación, se deben realizar los estudios para evaluar el impacto del acuífero y en caso de ser necesario plantear estrategias de mitigación.

G.2.3.2.7 Ensayos in-situ y de laboratorio

1. Selección de muestras

Las muestras obtenidas de la exploración de campo deben ser seleccionadas por el ingeniero, quien debe ordenar los ensayos de laboratorio que permitan conocer con claridad la clasificación, pesos unitarios, propiedades de resistencia al corte, deformación y permeabilidad de los diferentes materiales afectados por la obra.

2. Tipo y número de ensayos

El tipo y número de ensayos depende de las características propias de los suelos o materiales rocosos por investigar, del alcance del proyecto y del criterio del ingeniero geotecnista.

- Ensayos para suelos: para suelos se deben realizar como mínimo ensayos de clasificación completa para cada uno de los estratos o unidades estratigráficas, sus niveles de meteorización, su humedad natural y peso unitario.
- Ensayos para rocas: para materiales rocosos, se deben realizar como mínimo ensayos de peso específico, compresión simple, absorción y alterabilidad.

G.2.3.2.8 Ensayos detallados

Las propiedades mecánicas e hidráulicas del subsuelo tales como: resistencia al corte, deformabilidad, expansión, permeabilidad, peso unitario, alterabilidad y otras, se determinan en cada caso mediante procedimientos aceptados de campo o laboratorio. Cuando las condiciones lo requieran, los procedimientos de ensayo se deben orientar de tal modo que permitan determinar la influencia de la saturación, drenaje, confinamiento, cargas cíclicas y en general otros factores significativos sobre las propiedades mecánicas de los materiales investigados.

G.2.3.2.9 Ensayos de resistencia para suelos

Para excavaciones con grado de dificultad alto, se harán ensayos que permitan determinar confiablemente los parámetros efectivos de resistencia del suelo (c' , ϕ') tales como ensayos triaxiales consolidados no drenados con medición de presión de poros, corte directo lento y otros, con un mínimo

de tres puntos por muestra, en por lo menos una muestra inalterada de cada estrato tomada de los sondeos directos realizados según se indica en el literal G.G.2.3.2.5.

G.2.3.2.10 Ensayos de resistencia para materiales rocosos

Para excavaciones en materiales rocosos deben obtenerse los parámetros de resistencia tanto de las discontinuidades como el material rocoso en sí, mediante ensayos in-situ o de laboratorio.

G.2.3.2.11 Ensayos para deformabilidad

Los ensayos para obtener parámetros de deformabilidad normalmente serán los mismos que para resistencia, empleando elementos de medición adecuados, salvo ensayos específicos in-situ (por ejemplo presiómetro) o de laboratorio (por ejemplo consolidación).

G.2.4 DISEÑO GEOTÉCNICO

G.2.4.1 CONDICIONES GENERALES

G.2.4.1.1 Condiciones y materiales de excavación

Toda excavación debe mantenerse estable, por sí misma o soportada en forma adecuada, para los fines de diseño, construcción y operación. No se puede presumir estabilidad de la excavación en suelos duros o materiales rocosos sin investigaciones y estudios previos.

G.2.4.1.2 Estados límites

El diseño de toda excavación debe realizarse evaluando las condiciones predominantes más críticas que puedan presentarse durante la construcción y vida útil de la estructura para los dos estados límites que se especifican:

- a) Estado límite de falla: Cuando se desarrolla un mecanismo de falla en el terreno u ocurren deformaciones causantes de la pérdida de equilibrio estático o de la rotura del terreno, estructuras u obras vecinas.
- b) Estado límite de servicio. Cuando el terreno sufre deformaciones responsables de daños o pérdidas fundamentales en él mismo o en obras aledañas.

G.2.4.1.3 Parámetros geotécnicos de diseño

Los parámetros geotécnicos de suelos y rocas que se empleen en el diseño para excavaciones y/o para sus estructuras de contención (peso unitario, resistencia, deformabilidad, permeabilidad, etc.) deben justificarse plenamente y provenir de ensayos in-situ y/o de laboratorio. Para excavaciones con grado de dificultad alto es indispensable emplear, en forma adicional a otro tipo de parámetros o en forma única, parámetros efectivos de resistencia y de deformabilidad. En las excavaciones con grado de dificultad bajo, medio y medio alto, el ingeniero debe juzgar la necesidad de utilizar parámetros en esfuerzos efectivos dependiendo de la duración de la obra.

G.2.4.1.4 Empujes de tierra

En el caso de obras de contención, tales como muros de gravedad, muros en voladizo, pantallas ancladas, entibados, etc., los empujes de tierra que actúan sobre la estructura deben calcularse, según lo estipulado en el literal H.4.2. de las *Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente, NSR - 98*, Ley 400 de 1997 y Decreto 33 de 1998 o los decretos que lo reemplacen o complementen.

G.2.4.2 SEGURIDAD ANTE FALLA

G.2.4.2.1 Capacidad ante falla

La seguridad ante los estados límites de falla de una excavación se evalúa calculando la condición de falla tanto para el terreno en sí como para el sistema de excavación - contención, si lo hay.

1. Parámetros en excavaciones no soportadas.

Para las excavaciones no soportadas es necesario tomar en cuenta los siguientes parámetros:

- a) Dimensiones en planta y forma de los taludes de excavación.
- b) Profundidad de excavación.
- c) Inclinación y forma de los taludes de excavación.
- d) Inclinación y excentricidad de cargas externas.
- e) Inclinación del terreno existente.
- f) Niveles y flujo de aguas subterráneas.
- g) Efectos sísmicos.
- h) Secuencias constructivas.

2. Parámetros en excavaciones soportadas

Para excavaciones soportadas, además de los mencionados en el literal G.2.4.2.1, es necesario tomar en cuenta los siguientes parámetros adicionales:

- a) Empujes del terreno sobre la estructura
- b) Rigidez relativa entre la estructura de contención y la masa térrea.
- c) Condiciones de impermeabilidad de la estructura de contención y su influencia en los niveles y flujo de aguas subterráneas.
- d) Ubicación y dimensión de elementos adicionales de soporte (tensores, anclajes, codales, puntales, etc.)

3. Modos de falla en excavaciones no soportadas

En excavaciones no soportadas es necesario investigar como mínimo los siguientes modos de falla:

- a) Falla de taludes a su máxima altura.
- b) En todos los casos, falla de fondo de la excavación.
- c) En terrenos inclinados: falla del talud general de la pendiente, incluyendo el talud excavado.

4. Modos de falla en excavaciones soportadas

En excavaciones soportadas es necesario investigar como mínimo los siguientes modos de falla:

- a) En los casos de excavaciones soportadas con refuerzo: falla del talud a su máxima altura, falla de soporte del refuerzo y falla estructural del refuerzo.
- b) En los casos de estructuras soportadas con muros: falla por volteo, falla por deslizamiento, falla por capacidad portante y falla estructural del muro en sí.
- c) En los casos de estructuras entibadas: falla del talud por el pie del entibado, falla de apoyo de codales y/o puntales y falla estructural del entibado y codales y/o puntales.
- d) En los casos de estructuras soportadas con pantalla: falla del talud por el pie de la pantalla, falla de soporte anclajes y/o tensores y falla estructural de la pantalla y de anclajes y/o tensores.
- e) En todos los casos: falla de fondo de la excavación
- f) En terrenos inclinados: falla del talud general de la pendiente, incluyendo el talud excavado y soportado.

G.2.4.2.2 Factores de seguridad en la falla

La selección del factor de seguridad debe justificarse plenamente teniendo en cuenta:

- La magnitud de la obra.
- Las consecuencias de una posible falla en la excavación.
- La calidad de la información geotécnica disponible.

1. Factores de seguridad para la falla de taludes.

Para todo tipo de falla de taludes excavados (con o sin refuerzo) se deben utilizar factores mínimos de 1.3 para carga muerta más carga viva máxima, de 1.5 para carga muerta más carga viva normal, y de 1.1 para carga muerta más carga viva normal combinados con el sismo de diseño. Para taludes naturales, la excavación no debe reducir los factores de seguridad que tenía la ladera en su estado natural y en caso contrario deben proveerse obras que hagan que esto sea así.

2. Factores de seguridad para falla de fondo

Con respecto a la falla de fondo se deben adoptar los factores de seguridad estipulados en el literal H.4.3.4. de las *Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente, NSR - 98, Ley 400 de 1997 y Decreto 33 de 1998* o los decretos que lo reemplacen o complementen.

3. Factores de seguridad para la falla de muros

Los factores de seguridad para la falla de muros se deben adoptar según lo estipulado en el literal H.4.2.11 de las *Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente, NSR - 98, Ley 400 de 1997 y Decreto 33 de 1998* o los decretos que lo reemplacen o complementen.

4. Factores de seguridad para la falla de apoyo o soporte de anclajes, codales y puntales

Se deben utilizar factores mínimos de 1.3 para carga muerta más carga viva máxima, de 1.5 para carga muerta más carga viva normal y de 1.1 para carga muerta más carga viva normal combinado con el sismo de diseño.

G.2.4.3 SEGURIDAD ANTE PÉRDIDA DE CAPACIDAD DE SERVICIO

G.2.4.3.1 Deformaciones

La seguridad para el estado límite de servicio resulta del cálculo de las deformaciones causadas al terreno por la excavación en su zona de influencia: asentamientos, diferenciando claramente aquellos causados por la descarga y los causados por los descensos del nivel freático, expansiones del fondo de la excavación y deformaciones laterales de taludes o costados de la excavación.

En los cálculos de los diferentes tipos de deformaciones se deben tener en cuenta los valores inmediatos y las variables en el tiempo como la consolidación o expansión, los efectos secundarios y los causados por el sismo.

G.2.4.3.2 Clasificación de asentamientos y límites admisibles

Se deben calcular los distintos tipos de asentamientos que causa la excavación, así:

- a) Asentamiento total: mayor valor entre todos los calculados dentro de la zona de influencia de la excavación.
- b) Asentamiento diferencial: diferencia entre los valores de asentamiento correspondientes a dos partes diferentes pero contiguas y pertenecientes a cualquier estructura que se encuentre dentro de la zona de influencia de la excavación.
- c) Giro: rotación de una edificación o estructura, sobre el plano horizontal, producido por asentamientos diferenciales de la misma.

Por otro lado se establecen los siguientes límites para los asentamientos y giros :

1. Límites de asentamientos en edificaciones vecinas:

los asentamientos y giros calculados que cause la excavación a edificaciones dentro de la zona de influencia, sumados a los asentamientos propios estimados para ellas, no deben sobrepasar los límites estipulados en el literal H.4.1.9. de las *Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente, NSR - 98*, Ley 400 de 1997 y Decreto 33 de 1998 o los decretos que lo reemplacen o complementen.

2. Límites de expansiones de fondo y deformaciones laterales de taludes o costados de la excavación:

los límites de estas deformaciones serán estipulados por el Ingeniero responsable teniendo en cuenta su incidencia en los asentamientos o corrimientos tanto del piso y paredes de la excavación como en los terrenos de la zona de influencia de la excavación y edificaciones vecinas.

G.2.4.4 DRENAJES

G.2.4.4.1 Aguas subterráneas

En toda excavación se deben tener en cuenta las condiciones de aguas subterráneas y superficiales, en el cálculo de condiciones de falla y de servicio y por ende en el diseño de taludes, obras de contención y sus obras complementarias.

G.2.4.4.2 Empujes por agua y drenajes

Deben incluirse los empujes ejercidos por el agua para el cálculo de muros de contención, pantallas, otras obras de contención y sus obras complementarias, a menos que se diseñe un sistema de drenaje que impida durante la vida útil de la estructura de contención todo contacto del agua subterránea con las superficies de las diferentes estructuras.

El ingeniero geotécnico debe evaluar el efecto de los drenajes de la excavación en la zona de influencia de ésta, en especial los bombeos y especificar, cuando sea necesario, la inyección de aguas y/o las medidas necesarias para el control de los daños que este drenaje pueda causar.

G.2.4.5 ASPECTOS RELACIONADOS

G.2.4.5.1 Suelos con características especiales

En este tipo de suelo deben adoptarse las precauciones indicadas en el capítulo H.6 de las *Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente, NSR - 98*, Ley 400 de 1997 y Decreto 33 de 1998 o los decretos que lo reemplacen o complementen.

G.2.4.5.2 Defectos del terreno

El diseño de excavaciones en terrenos que posean alteraciones internas como socavones antiguos de minería, canteras o botaderos antiguos, tienen que realizarse en forma tal que se minimice todo riesgo de subsidencia o colapso de la zona de influencia de la excavación por efecto de la descarga impuesta al terreno.

G.2.4.5.3 Estabilidad de laderas naturales

La estabilidad de laderas se define como la verificación geológica - geotécnica de la estabilidad natural del terreno, mediante la evaluación de las condiciones naturales de origen geológico, morfológico y geotécnico, que permitan establecer la amenaza potencial de movimientos de masa, aún sin efectos de excavaciones.

G.2.4.5.4 Categorías de estabilidad de laderas naturales

Se establecen las siguientes categorías de estabilidad para laderas naturales antes de ejecutar la excavación.

- a) Estable: Corresponde a terrenos donde la posibilidad de movimientos de masa son mínimos o no existen, aún con sismo.
- b) Estable con reserva: Son terrenos en los cuales previamente a cualquier excavación es necesario adelantar trabajos para mejorar su estabilidad.
- c) Inestable: Son terrenos en los cuales no se deben adelantar excavaciones por los altos riesgos de movimientos de masa que puedan afectar vidas y bienes. Su recuperación usualmente es muy compleja y costosa.

G.2.4.6 CONSIDERACIONES SÍSMICAS

Cuando existan estudios particulares de microzonificación sísmica deben emplearse los espectros de diseño recomendados según los mapas de microzonificación respectivos además de los requerimientos especiales de diseño sísmico que se establecen para cada zona en particular. De lo contrario se deben adoptar las consideraciones sísmicas estipuladas en el literal H.4.3.2.1. de las *Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente, NSR - 98*, Ley 400 de 1997 y Decreto 33 de 1998 o los decretos que lo reemplacen o complementen.

G.2.4.7 DISEÑO DEFINITIVO DE LA EXCAVACIÓN

El diseño definitivo de la excavación será aquel que, cumpliendo en todos sus elementos con la seguridad ante falla, produzca en su zona de influencia, tanto deformaciones y asentamientos inferiores a los permitidos con el mínimo daño posible a corto, mediano y largo plazo. Este diseño debe quedar claramente establecido en los informes geotécnicos.

G.2.5 RELLENOS Y COMPACTACIÓN DE ZANJAS Y TERRAPLENES

G.2.5.1 OBJETIVO Y ALCANCE

Este literal establece las exigencias mínimas para la construcción de rellenos en zanjas para instalación de tuberías. Los requisitos aquí establecidos deben aplicarse para los cuatro **Niveles de Complejidad del Sistema** definidos en el Título A a de este Reglamento.

El trabajo consiste en la ejecución de las actividades necesarias para construir rellenos de acuerdo con lo indicado en los planos, lo especificado en la norma o lo ordenado por el interventor, según el caso.

El constructor incluye dentro del alcance de los rellenos y la compactación las siguientes actividades:

- a) El control del agua durante la construcción.
- b) La explotación y obtención de materiales en bancos de préstamo y cantera.
- c) La colocación, riego y compactación, semicompactación o conformación del material.
- d) El transporte de materiales y equipos.
- e) La disposición y transporte de material de desperdicio.

G.2.5.2 REPARACIÓN DEL FONDO DE LA ZANJA

Cuando la calidad del terreno en el fondo de la zanja no sea adecuada para la colocación de la tubería, es decir que sea inestable o se encuentren materiales indeseables como basuras, materias orgánicas o fragmentos grandes de piedra, dicho material debe excavar y removerse hasta la profundidad autorizada por el interventor. Debe colocarse material seleccionado en capas de 10 cms. Las diversas capas deben apisonarse adecuadamente con el fin de obtener un apoyo uniforme y homogéneo para recibir la tubería.

Se permite dejar algunas franjas de 50 cms en la porción central de la tubería para poderla manipular con las eslingas, cadenas o bandas que faciliten su colocación.

La terminación de la zanja se debe efectuar a mano. En los casos en que no sea factible de remover, reemplazar y compactar el terreno del fondo de la zanja con un material adecuado, debe construirse una estructura de soporte (sacos de suelo cemento, base de concreto, etc.), de acuerdo con los planos aprobados para la obra.

G.2.5.3 RELLENO Y APISONADO DE LAS ZANJAS

Cuando los planos indiquen un material de atraque diferente del concreto, se utilizará un material granular que cumpla con lo especificado en el literal G.2.4.4

El material granular que cumpla con lo especificado en el literal G.2.4.4 debe compactarse con equipo vibrocompactador mecánico o neumático de placa, de dimensión máxima de 35 cm, o con pisonos manuales. Se debe buscar obtener una densidad relativa mínima del 70%. Las tuberías deben ser atracadas en la mitad de su diámetro y luego colocar la capa de recebo hasta una altura de 10 cm sobre la clave de la tubería. Luego se procede con la colocación del material de relleno en capas de 20 cm.

El relleno debe efectuarse lo más rápidamente después de la instalación de la tubería, para evitar que caigan objetos extraños o material de los taludes en la zanja.

Mediante apisonamiento manual debe proporcionarse un relleno inicial de 15 a 30 cms sobre la tubería. Por encima de esta capa la compactación es preferiblemente ejecutada con equipos, y se debe buscar una densidad no menor del 95% de la máxima densidad seca, obtenida del ensayo Proctor Modificado. Las capas deben conformarse en espesores compactados de 20 cms.

G.2.5.4 MATERIAL DE RELLENO

G.2.5.4.1 Terraplenes

Los materiales para los terraplenes o rellenos no deben contener arcillas expansivas, materia orgánica, basuras, raíces, troncos u otros materiales objetables provenientes de excavaciones, requiriendo el visto bueno del interventor para ser aprobados.

Para ejecutar la construcción de terraplenes se debe ejecutar la limpieza y descapote de las áreas a explanar y se debe excavar el material inadecuado de ser necesario. En tiempo húmedo se debe preveer el drenaje necesario para garantizar el buen desarrollo de los trabajos y la calidad del material.

Los materiales para la conformación del terraplén deben colocarse en capas horizontales de espesor compactado no mayor de 20 cms.

En terrenos pantanosos o rellenos bajo agua se deben utilizar fragmentos de roca o material granular de subbase (GW, GP, GC, SW) correspondientes a la clasificación unificada de suelos.

En terrenos adyacentes a estructuras como alcantarillas, muros, cimientos o donde no sea posible utilizar equipos pesados, se pueden emplear equipos manuales.

Cada capa del terraplén se debe compactar uniformemente hasta obtener una densidad seca no inferior al 95% de la densidad seca máxima de acuerdo con el ensayo Proctor Modificado o con la norma NTC 1667 o 1528.

Cuando el relleno se coloque sobre un piso existente, éste debe escarificarse para obtener una buena adherencia entre el piso y el relleno.

G.2.5.4.2 Relleno para estructuras y zanjas

Todos los materiales granulares procedentes de formaciones rocosas de los lechos de los ríos deben cumplir además con las siguientes especificaciones de dureza y sanidad: el material sometido a cinco ciclos del ensayo de solidez por sulfato de sodio, realizado de acuerdo con la norma NTC 126, no debe perder más del 12% de su peso y el desgaste del material no debe ser superior al 50% cuando se somete al ensayo de la máquina de los Angeles ejecutado de acuerdo con las normas NTC 93 y 98.

1. Material común

Se denomina material común, al proveniente de excavaciones o bancos de préstamo que para su utilización debe estar libre de escorias, desperdicios, materiales vegetales, suelos caracterizadamente orgánicos y fragmentos de roca de diámetro mayor de 10 cm para rellenos y terraplenes semicompactados y 20 cm para los conformados.

2. Material seleccionado :

Se denomina material seleccionado al material eminentemente granular constituido por una mezcla densa de grava y arena, con un contenido de material que pase el tamiz No. 200, no menor de 5% ni mayor de 15%. El material seleccionado debe estar libre de materia orgánica, y en general, de cualquier material que pueda afectar sus propiedades físicas y mecánicas deseadas.

3. Materiales para cimentación de tuberías y revestimiento de canales :

Los materiales comúnmente usados para cimentar tuberías de acueducto y alcantarillado con el objeto de aumentar el factor de carga de las tuberías y para evitar asentamientos y desplazamientos de las mismas, son de las siguientes clases: concreto, material granular, material seleccionado, recebo arenoso y piedra partida. Estos materiales deben cumplir las especificaciones generales dadas anteriormente y las que se dan a continuación para cada tipo especial.

- Concreto : el atraque de las tuberías está conformado por una mezcla de cemento, arena y agregado grueso; reforzado o no, que conserve las dimensiones y la resistencia a los 28 días especificada por el diseñador.
- Material granular : se denomina así al material libre de elementos objetables a juicio del interventor y que se ajuste a los siguientes límites de gradación, determinados de acuerdo con la norma NTC 77.

TABLA G.2.3
Material granular

Diámetro de la Tubería	Tamiz	% que Pasa
Mayor de 762 mm	¼	95-100
Menor e igual a 762 mm	½	95-100
Todos	No.4	20

- Material seleccionado : el material seleccionado para cimentación de tuberías debe ser de iguales características al especificado anteriormente.
- Recebo arenoso : se clasifica así el material libre de elementos objetables a juicio del interventor y es formado por una mezcla de materiales granulares, arcillas y limos, y cuya granulometría se ajuste a los siguientes valores, determinados de acuerdo con la norma NTC 77. Este material debe cumplir con los requisitos de dureza y sanidad indicados en este Reglamento para los materiales granulares.

TABLA G.2.4.
Recebo arenoso

Diámetro de la Tubería	Tamiz	% que Pasa
Todos	No. 4	100
Todos	No. 40	50
Todos	No. 200	5

- Piedra partida : se clasifica así el material procedente de formaciones rocosas sometido a trituración hasta obtener granos aproximadamente cúbicos de dimensiones entre 5 y 15 cm de lado. Este material debe cumplir con los mismos requisitos de dureza y sanidad indicados para los materiales granulares.

G.2.5.5 CONTROL DE CALIDAD

El interventor debe comprobar el grado de compactación obtenido en el material de relleno y en caso que se detecten fallas o deficiencias constructivas, el constructor debe ordenar cambios en los materiales o en el sistema de compactación para obtener buenos resultados.

Cada capa es medida para comprobar que su nivelación y espesores cumplan con la especificación. Si una o varias capas no cumplen, el interventor puede ordenar su remoción total o parcial y el remplazo de dichas capas.

La determinación de la calidad de los materiales y la verificación de la compactación se hace siguiendo las normas que aparecen en la siguiente Tabla :

TABLA G.2.5
Control de calidad

Masa Unitaria en Terreno	Norma NTC 1528/1667	
Contenido de Humedad	Norma NTC 1495	Norma ASTM D 2216
Ensayo Proctor Modificado	Norma NTC 1667	Norma ASTM D 1557
Materiales	de acuerdo a G.2.5.4	de acuerdo a G.2.5.4

G.2.6 DEMOLICIONES Y DISPOSICION DE MATERIALES

G.2.6.1 ALCANCE

Las disposiciones establecidas en el literal G.2.6 deben adoptarse por igual en todos **Niveles de Complejidad del Sistema.**

El trabajo objeto de este numeral comprende la demolición de estructuras o edificaciones existentes, en las zonas donde se han de construir las obras objeto del contrato, y la remoción, transporte, cargue y disposición del desecho de los materiales demolidos, en las áreas aceptadas y a satisfacción plena del interventor. El trabajo puede incluir la demolición parcial de cualquier estructura y la remoción y traslado de elementos existentes como árboles, torres de transmisión, postes, etc. a una nueva localización. Por lo tanto el constructor suministra toda la planta, explosivos y elementos especiales para realizar los trabajos de demolición o el traslado de estructuras o elementos.

G.2.6.2 DEMOLICIONES

G.2.6.2.1 Alcance

El trabajo descrito en este literal, establece las indicaciones básicas para la demolición de estructuras o edificaciones existentes, en las áreas donde se debe trabajar en las obras.

G.2.6.2.2 Clasificación

Los trabajos de demolición se clasifican según el material y la clase de estructura, de la siguiente manera :

- Demolición de pavimento de concreto rígido o asfáltico
- Demolición de sardineles o bordillos.
- Demolición de estructuras en concreto
- Demolición de construcción en mampostería
- Remoción de tuberías.

1. Requisitos generales

El constructor no puede emprender la demolición de estructuras ni el retiro de tuberías, sin previa autorización del interventor, sobre el alcance y los procedimientos propuestos para adelantar el trabajo.

Debe responder por cualquier daño que produzca, directa o indirectamente, debido a la ejecución de las labores de demolición, excepto cuando dicho daño esté comprendido en los planos y haya sido debidamente autorizado. Se deben tomar las medidas necesarias para evitar en lo posible las molestias a los habitantes vecinos al área de construcción. El constructor debe proteger las edificaciones y estructuras vecinas de aquellas que se van a demoler.

2. Requisitos específicos

Los elementos de demolición deben romperse en bloques o fragmentos de tamaño superior a 30 cm de lado. En caso que sea necesario removerlos sólo en forma temporal, por ejemplo para la instalación de redes de servicio, se deben tomar las precauciones necesarias para conservarlos en el mejor estado y poder reutilizarlos posteriormente.

Las estructuras de concreto y mampostería se deben romper en fragmentos de volumen no superior a 0.03 m³, hasta las cotas indicadas. La remoción de tuberías reutilizables debe realizarse de manera que se asegure el retiro de los elementos en el mismo estado en que se encontraron.

3. Equipos

El constructor puede emplear con el visto bueno del interventor, cualquier tipo de equipo y herramienta aptos para llevar a cabo la actividad de demolición, como rompe-pavimentos, martillos, cargador, equipo de transporte, etc.

G.2.6.3 ACARREOS

G.2.6.3.1 Definición

Este literal tiene como objetivo establecer los criterios básicos para el cargue y transporte de los materiales de desperdicio.

G.2.6.3.2 Alcance

Los trabajos que se deben llevar a cabo dentro del concepto de acarreo libre son los siguientes :

- Cargue del material.
- Transporte del material hasta la distancia de acarreo libre.
- Descargue del material en el sitio de utilización, almacenamiento o botadero.

G.2.6.3.3 Equipos

- El constructor debe utilizar para el acarreo de materiales, equipos apropiados para cada distancia de acarreo especificada y para las condiciones de acceso y localización de la obra. El equipo debe mantenerse en óptimas condiciones de funcionamiento y su capacidad de rendimiento debe ser adecuada para generar el adelanto de la obra según la programación del trabajo aprobada.
- Los materiales deben ir cubiertos.
- El transportador debe asegurar que durante el acarreo no se presenten pérdidas accidentales de material transportado.

G.2.6.4 RETIRO Y DISPOSICIÓN

G.2.6.4.1 Definición

Este literal comprende los criterios generales que rigen la disposición de los materiales que provienen de las actividades de excavación, desmonte, limpieza, descapote, rotura de pavimentos y demoliciones.

G.2.6.4.2 Alcance

El trabajo implica la ejecución de las actividades necesarias para retirar del sitio de la obra y disponer de los materiales de desperdicio.

G.2.6.4.3 Utilización de los materiales

Los materiales sobrantes de demoliciones y excavaciones se deben llevar al botadero autorizado por la autoridad competente. Los materiales adecuados resultantes de excavaciones se debe utilizar en la construcción de terraplenes y rellenos en otras obras, o pueden ser almacenados dentro de las áreas de trabajo adyacentes a las obras para su reutilización, conformando montones protegidos para evitar que sean arrastrados por las aguas o saturados por la lluvia. Se debe evitar que esta disposición obstruya drenajes y sumideros.

Los materiales provenientes de las actividades de excavación, desmonte, limpieza, descapote, rotura de pavimentos y demoliciones, se deben disponer en sitios adecuados sin ocasionar perjuicio a la obra, a entidades particulares o a terceras personas. Debido a que una porción de estos materiales son reutilizables, se deben diferenciar entre los materiales sobrantes y los de desperdicio.

Los siguientes son las especificaciones de manejo y transporte que se deben cumplir para el correcto manejo y transporte de los materiales de desperdicio.

1. Bancos de desperdicio : los materiales de desperdicio se deben disponer en los lugares en donde no se afecte al ambiente, a otras entidades y en general a terceras personas. Razón por la cual no se puede disponer de los materiales lateralmente a vías en construcción o construidas, zonas verdes, como tampoco se puede disponer los materiales apilándolos o acordonándolos.
2. Materiales sobrantes : la disposición de los materiales se realiza en las dos formas siguientes:
 - Utilizando el material producto de excavaciones y descapote en otras partes de la obra, tales como rellenos, terraplenes y empradizados o llevando dichos materiales a los bancos de desperdicio. Los materiales productos de excavaciones y descapotes que sean utilizables se debe llevar directamente del sitio de excavación al relleno o terraplén. Si esto no es posible, el interventor acepta que el constructor lleve estos materiales a los bancos de almacenamiento temporal definidos por él. Para efectuar esta labor se requiere el cargue del material, el transporte del mismo hasta la distancia de acarreo libre, y el descargue en el sitio de relleno, terraplén, empradización o banco de almacenamiento.
 - Los materiales productos de excavaciones y descapotes que no sean utilizables en la obra se consideran de desecho y el constructor los debe llevar a los bancos de desperdicio aceptados por el interventor y disponibles mediante permisos obtenidos o negociaciones efectuadas por el constructor. Para efectuar esta labor el constructor carga, transporta a la distancia de acarreo libre y descarga los materiales en el sitio de disposición, labores incluidas en el concepto de acarreo libre contemplado en el ítem de excavación, descapote o desmonte; se extiende el material en el banco de desperdicio conformándolo con el equipo apropiado y en la forma que indique la supervisión técnica.
 - Material de desperdicio : los materiales producto de demoliciones y rotura de pavimentos se consideran no utilizables en la obra y se disponen según sus características en la forma dada a continuación:
 - Los materiales producto de demolición de estructuras o edificaciones que sean aptos y necesarios para rellenar y emparejar la zona de demolición, a juicio del interventor, deben ser utilizados por el constructor para este fin. El resto de materiales son de propiedad del constructor quién debe retirarlos de la obra inmediatamente se concluyan las labores de demolición.
 - Los materiales producto de rotura de pavimentos se consideran desechables y se deben llevar a los bancos de desperdicio, donde el constructor los debe disponer con los materiales de desecho producto de las excavaciones.

- Los materiales vegetales productos de la limpieza de la áreas de construcción deben ser eliminados bajo la responsabilidad del constructor. Cuando el interventor lo autorice dichos materiales pueden ser incinerados dentro del área de construcción.

G.2.7 VÍAS Y PAVIMENTOS

G.2.7.1 ALCANCE

Este literal establece los criterios básicos para las actividades de rotura, retiro y disposición, reparación, afirmados, pavimentos asfálticos, pavimentos con cemento portland y adoquinados que resulten como consecuencia de trabajos de instalación de tuberías

Las disposiciones establecidas en el literal G,2,6 se deben adoptar por igual en todos **los Niveles de Complejidad del Sistema**. Para las obras correspondientes a los **Niveles alto y medio alto de Complejidad**, la compactación de las capas del pavimento se deben efectuar con equipos vibratorios prohibiéndose su ejecución manual.

G.2.7.2 METODOLOGÍA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS

Las metodologías de diseño de la estructura del pavimento para los **Niveles de Complejidad Alto y Medio-Alto** deben realizarse empleando métodos racionales. Los valores de los módulos dinámicos de la subrasante, capa de subbase, base y rodadura deben medirse mediante ensayos estandarizados y normalizados de laboratorio para cada caso particular.

Para los diseños correspondientes a los **Niveles de Complejidad del Sistema Bajo y Medio**, se acepta reconstruir al menos los mismos espesores de las capas granulares y de rodadura, siempre que los materiales utilizados tengan las mismas características o sean superiores a las empleadas en el diseño del pavimento construido anteriormente sólo si este ha presentado un buen comportamiento durante su vida de servicio.

G.2.7.3 ROTURA DE PAVIMENTOS

La rotura de pavimentos puede realizarse únicamente en los sitios indicados en los planos, o en los que el interventor indique.

G.2.7.3.1 Procedimiento para el corte

El pavimento existente debe cortarse de acuerdo con los límites especificados y sólo pueden excederse cuando existan razones técnicas justificadas para ello y con previa autorización de la autoridad competente.

El corte debe cumplir los siguientes requisitos:

- La superficie debe quedar completamente vertical.
- El corte se efectúa según líneas y trazos definidos en planos.
- Los equipos especiales de corte, como sierras, martillos rompepavimentos, herramientas neumáticas y otros, deben ser aprobadas previamente por el interventor de la obra. En todo caso se prohíbe la utilización de equipos que presenten frecuencias de vibración que puedan ocasionar daños en estructuras existentes.
- En los pavimentos adoquinados se marca la excavación para retirar los adoquines necesarios, acoplándolos y transportándolos de manera que no sufran daños y puedan reutilizarse con posterioridad.

G.2.7.4 RETIRO Y DISPOSICIÓN

Esta actividad se debe realizar según lo dispuesto en G.2.6.4.

G.2.7.5 REPARACIÓN

Los trabajos incluidos en este literal constituyen las distintas operaciones para efectuar la reparación de pavimentos, en aquellas calles pavimentadas en las que se han efectuado excavaciones para la construcción de estructuras de acueductos o alcantarillados, de acuerdo con lo consignado en los planos o labores ordenadas por el interventor.

G.2.7.5.1 Materiales

Están especificados de acuerdo con los literales G.2.6.6, G.2.6.7 y G.2.6.8.

G.2.7.5.2 Base del pavimento

La base granular debe tener como mínimo un espesor de 15 cm y la compactación se lleva a cabo con un rodillo liso de cinco toneladas de peso, dándole al menos 10 pasadas hasta lograr una compactación del 95% de la máxima densidad seca, obtenida del ensayo Proctor Modificado (ASTM D 448-86).

El material de base antes de ser compactado debe tener una humedad de $W_{OPM} \pm 2$.

Después de compactada la base debe dejarse 24 horas de curado para que la humedad se reduzca aproximadamente a la mitad. Luego se aplica la capa de imprimación.

G.2.7.5.3 Imprimación

Para la imprimación deben emplearse asfaltos líquidos de curado medio MC-0, MC-2 ó similares, o asfaltos de curado lento SC-0, SC-2, con una dosificación entre 1 y 2 litros por m². El producto debe aplicarse a una temperatura que lo haga suficientemente fluido durante su aplicación. Para el MC-0 se recomienda una temperatura de 10 a 49°C, para el MC-1 de 27 a 66°C, y para el MC-2 de 38 a 93°C.

La imprimación se aplica sobre una base bien compactada y seca con el fin de sellar su superficie y producir una buena adherencia. Si al aplicar la imprimación se presenta esponjamiento, ésta debe recompactarse con equipo neumático.

El pavimento asfáltico consta como mínimo de un concreto asfáltico de 5 cm de espesor y una capa de rodadura de 3 cm. En los casos en que la estructura sea más gruesa, las capas se deben aplicar en los espesores que tenía la antigua calzada.

Luego de 24 horas de curado de la imprimación, se compactan las capas asfálticas a una densidad entre el 95 y 98% de la máxima de diseño y una estabilidad Marshall mínima de 340 Kg; el flujo debe oscilar entre 3.6 mm y 4.1 mm y el porcentaje de vacíos entre 2 y 5 por ciento.

G.2.7.6 AFIRMADOS

G.2.7.6.1 Definición

Se define afirmado como el conjunto de operaciones que deben ejecutarse para suministrar los materiales y construir las capas de subbase y base sobre la subrasante previamente preparada, de acuerdo con los perfiles y secciones indicados en planos.

G.2.7.6.2 Alcance

El constructor debe explotar y suministrar todos los materiales en obra a todo costo, para reparar la subrasante, conformarla y compactarla, que incluye, la explotación, selección, transporte, conformación del material de las capas de afirmado de subbase y base, su compactación, riego asfáltico y la disposición de los materiales de desperdicio.

G.2.7.6.3 Mejoramiento de la subrasante

Cuando el suelo de la subrasante no es adecuado para cimentar el afirmado, es decir, CBR < 2, suelo con materia orgánica > 1%, IP >40, debe ser reemplazado por un material que no tenga un porcentaje mayor del 35% en peso que pase el tamiz 200 y que cumpla los requisitos mínimos propuestos.

El espesor mínimo debe ser de 50 cm, sin embargo cada caso en particular debe ser tratado con estudios de laboratorio.

Si el afirmado se va a construir sobre el terreno natural, la superficie se debe escarificar hasta una profundidad de 10 cm como mínimo y se debe compactar hasta una profundidad de 10 cm, para obtener una compactación no menor del 95% del OPM.

Si el terreno natural es muy blando y se encuentra demasiado húmedo, debe drenarse adecuadamente y se debe colocar una capa de material granular del espesor apropiado para que puedan circular los equipos.

No se debe ejecutar ningún trabajo en tiempo lluvioso, a menos que una verificación previa del estado de los materiales permita su utilización correcta en función del grado de humedad.

G.2.7.6.4 Subbase granular

El material está constituido por una mezcla de piedra triturada, arenas y finos que cumpla con los requisitos de la Tabla G.2.6.

TABLA G.2.6
Requisitos de la mezcla a emplearse en la subbase granular

Tamiz	Gradación Tipo		
	A	B	C
	% que Pasa		
76,2 mm (3")	100		
38,1 mm (1½")	-	100	
25,4 mm (1")	-	-	100
No. 4	30-70	30-70	40-80
No. 200	0-15	0-15	5-20

El material retenido en el tamiz No. 4 está constituido por partículas de rocas sanas y durables y debe presentar un $IP \leq 6\%$, una pérdida en el ensayo de solidez $< 12\%$, y un desgaste en la máquina de los Angeles $< 50\%$.

El CBR del material, correspondiente a una compactación del 95% del OPM es como mínimo del 30%. El material debe estar libre de tierra vegetal, terrones de arcilla y otros materiales objetables.

La separación y eliminación de sobretamaños deben ejecutarse en el sitio de explotación o elaboración, pero nunca en obra.

La subbase se coloca en capas de espesor no mayor de 20 cm, medido antes de la compactación. No se puede ejecutar ningún trabajo en tiempo lluvioso.

Cualquier contaminación de una capa debe corregirse, antes de proseguir con el trabajo.

G.2.7.6.5 Base granular

Los materiales deben ser pétreos, de origen aluvial o de cantera, triturados, mezclados con arena de río o de peña, estar libre de terrones de arcilla, materia orgánica, basuras, escombros u otros elementos objetables y deben cumplir con los requisitos especificados en la Tabla G.2.7.

TABLA G.2.7
Requisitos de la mezcla que se emplea en la base granular

Tamiz	Gradación Tipo		
	A	B	C
	% que Pasa		
1½"	100	100	100
1"	75-92	79-96	83-100
¾"	60-80	65-85	70-90
3/8"	40-63	46-69	52-75
No. 4	30-50	35-55	40-60
No. 10	20-37	24-41	28-45
No. 40	10-23	13-27	17-30
No. 200	5-12	7-12	8-12

El material retenido en el tamiz No 4, debe estar constituido por partículas de rocas sanas y durables, debe presentar un IP nulo, y al menos el 50% de las caras fracturadas.

El CBR del material, correspondiente a una compactación del 100% del OPM, debe ser como mínimo de 80%, presentar un desgaste en el ensayo de solidez $\leq 12\%$ y un desgaste en la máquina de los Angeles $< 35\%$.

Para la fracción que pasa el tamiz No. 40, el límite líquido es máximo 25%.

Todos los trabajos de clasificación de agregados, incluidas la separación y eliminación de sobretamaños, deben ejecutarse en el sitio de explotación o elaboración pero nunca en obra. Sobre la calzada se permite la mezcla de dos o más tipos de agregados en seco mediante procedimientos aprobados el interventor.

El espesor final no debe exceder el espesor proyectado en más o menos medio centímetro (+/- 0.5 cm). Si se encuentran espesores deficientes se debe escarificar la base en la zona defectuosa a una profundidad mínima de 10 cm y se debe adicionar el material normalizado en la cantidad necesaria para corregir la falla. El conjunto se debe compactar y perfilar a satisfacción.

G.2.7.7 PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

Ningún trabajo de riego, imprimación o colocación de concreto puede ser ejecutado en presencia de la lluvia.

G.2.7.7.1 Imprimación

Se debe aplicar asfalto bituminoso en cantidades que pueden variar entre 1.0 y 2.0 litros por metro cuadrado de MC-70 y de 1.5 a 3 kilogramos por metro cuadrado de emulsión asfáltica acorde con la textura de la subbase, o de la base, según lo que se vaya a imprimir.

El área imprimada debe estar cerrada al tráfico entre 24 y 48 horas para que el producto bituminoso penetre y se endurezca superficialmente.

El exceso de material bituminoso que forme charcos se debe retirar con escobas.

G.2.7.7.2 Riego de liga

El riego de liga consiste en el suministro, transporte, calentamiento y aplicación uniforme de un producto bituminoso sobre un pavimento existente o sobre una base asfáltica nueva.

El riego de liga se debe realizar con un cemento asfáltico AC-60-100 aplicado entre 110°C y 115°C ó asfalto líquido RC-250 aplicado entre 70°C y 100°C ó con emulsión asfáltica catiónica de rotura rápida con un contenido de asfalto residual entre 50-65%, aplicada a temperatura ambiente en una proporción que no supere los 0,4 litros/m²

El constructor debe calibrar la distribución homogénea del asfalto con anterioridad a la iniciación de las operaciones de riego en presencia del interventor y durante la construcción.

G.2.7.7.3 Concretos asfálticos

- El concreto asfáltico es una mezcla fabricada en planta y en caliente, con proporciones apropiadas de agregado grueso, agregado fino, llenante mineral y asfalto sólido.
- Asfalto sólido. Se utiliza un material bituminoso que cumpla los requisitos estipulados por el Asphalt Institute y se ensaya de acuerdo con las normas NLT de la Tabla G.2.8. El cemento asfáltico debe tener una penetración 60/70 o en su defecto 85/100.

TABLA G.2.8

Normas de ensayo para el asfalto líquido

Peso Específico	D-70/NLT-122
Penetración	D-5/NLT-124
Ductibilidad	D-113/NLT-126
Punto Chispa	D-92/NLT-136
Viscosidad Saybolt	D-36/NLT-125

- Agregado fino. La porción de agregado que pasa por el tamiz No. 4 y es retenida en el tamiz No. 200, se denomina agregado fino y está constituido por una arena natural, material de trituración o de una combinación de ambos y debe presentar granos limpios, duros, de superficie rugosa y angulosa, libre de toda materia orgánica y arcillosa. El equivalente de arena mínimo es de 50%.
- Llenante mineral. Cuando se requiera llenante mineral, éste debe estar constituido de polvo de piedra caliza, polvo de dolomita, cenizas de carbón o de fundición, cemento Portland u otro material mineral inerte. Debe estar seco y libre de terrones.
- La gradación del llenante mineral es la que se especifica en la siguiente Tabla:

TABLA G.2.9

Gradación del llenante mineral

Tamiz	% que Pasa en Peso
30	100
80	95-100
200	65-100

- Agregado grueso. Este material, retenido en el tamiz No. 4, está constituido por fragmentos de roca triturada, sanos, duros y durables. Por lo menos el 50% en peso de sus partículas debe presentar caras trituradas. La forma del agregado debe ser aproximadamente cúbica.
- En el ensayo de solidez al sulfato de sodio (AASHTO T104-77 - ASTM D 3042) no se debe desintegrar o perder más del 12% en cinco ciclos. El agregado no debe tener un desgaste en la máquina de los Angeles mayor del 30%.
- Granulometría. La mezcla de agregado se debe ajustar a una de las siguientes alternativas de gradación. La curva granulométrica del material debe ser regular, sin presentar variaciones de tamaño que vayan de valores cercanos al máximo porcentaje especificado en un tamiz a valores cercanos al mínimo porcentaje especificado en la siguiente Tabla.

TABLA G.2.10
Granulometría

% pasa Tamiz	CAPA DE BASE		CAPA DE RODADURA	
	A	B	C	D
1/2"	55-100	75-100	100	100
1"	100	100		
3/4"	75-100	85-100		
3/8"	45-85	65-90	80-100	85-100
No. 4	30-50	45-70	50-75	60-80
No. 10	15-35	30-45	30-50	40-55
No. 40	5-15	15-25	15-30	25-35
No. 100	2-8	5-15	8-18	15-25
No. 200	0-5	2-8	3-10	8-15
% de Cemento Asfáltico en Peso Total de la Mezcla	3 - 6%	3.5 - 7%	4 - 7%	5 - 8%

- Tolerancias admisibles. Todas las mezclas de concreto asfáltico deben ceñirse a la fórmula de trabajo, dentro de los límites de tolerancia especificados en la Tabla G.2.11.

TABLA G.2.11
Tolerancias admisibles

Total que pasa el tamiz No. 4	± 6.0 %
Total que pasa el tamiz No. 10	± 4.0 %
Total que pasa el tamiz No. 40	± 3.0 %
Total que pasa el tamiz No. 200	± 2.0 %
Porcentaje de cemento asfáltico	± 0.2 %
Temperatura	± 8.0°

El equivalente de arena (E.A) de la mezcla de los agregados es como mínimo de 50% de acuerdo con la norma AASHTO T176-73 Y ASTM D 2419.

G.2.7.7.4 Diseño de la mezcla de concreto asfáltico

El constructor, a través de un laboratorio aprobado de pavimentos, diseñará la fórmula de trabajo, con base en muestras de materiales, representativas de los que se van a utilizar en obra. El interventor debe comprobar el diseño adoptado y aceptado antes de iniciar su colocación.

La mezcla se diseña por el método Marshall (ASTM D 1559) de acuerdo con los siguientes requisitos especificados en la siguiente Tabla.

TABLA G.2.12
Especificaciones para el diseño de la mezcla

1. Compactación de las briquetas a 105°C de temperatura	50 golpes por cada cara
2. Estabilidad Marshall a 60°C Base : Rodadura :	400 Kg mínimo 700 Kg mínimo
3. Flujo de la muestra	entre 2 y 4 mm
4. Porcentaje de vacíos Base Rodadura	entre 5% y 10% entre 3% y 7%

G.2.7.7.5 Elaboración de mezclas asfálticas

El cemento asfáltico y los agregados deben ser calentados en la planta a una temperatura comprendida entre 135°C y 180°C. La diferencia de temperatura entre los agregados y el asfalto no debe ser mayor de 10°C. Al salir de la planta el concreto asfáltico debe tener una temperatura entre 135°C y 160°C. La temperatura mínima de colocación debe ser menor de 120°C.

Los agregados para la mezcla deben ser secados y calentados en la planta a la temperatura especificada antes de llevarlos al mezclador. El soplete usado para secar y calentar se debe ajustar para evitar daños a los agregados y la formación de hollín sobre ella.

Luego de calentar los agregados, se tamizan en tres o cuatro fracciones granulométricas y se almacenan en tolvas separadas.

G.2.7.7.6 Preparación de la mezcla

Los agregados secos y separados se combinan en la planta, de acuerdo con la fórmula de trabajo establecida. Las plantas deben estar equipadas con un tanque derretidor y un tanque de almacenamiento de asfalto caliente.

El asfalto se eleva al mezclador, dosificándolo en las cantidades determinadas. Cuando la planta sea de producción discontinua (cochadas), los agregados se mezclan primero en seco y después se les adiciona el asfalto. El tiempo mínimo de mezclado es 60 segundos.

Los equipos para la ejecución de los trabajos de pavimentación nueva comprenden barredora y sopladora mecánica o manual, equipo de calentamiento y distribuidor de concreto asfáltico (finisher), cilindro metálico estático o vibratorio (10 Ton), compactador neumático para el acabado final, con presión de inflado en las llantas superior a 7 kg/cm².

En trabajos de reparación de pavimentos fresados, se acepta la colocación manual de asfalto y la compactación con ranas vibratorias y compactadores benitines y compactadores más pequeños de llantas, previa calibración del número de pasadas en función del espesor de las capas.

G.2.7.7.7 Condiciones metereológicas

Las temperaturas atmosféricas mínimas admisibles se especifican en la Tabla G.2.13.

TABLA G.2.13
Temperaturas atmosféricas admisibles

Imprimación	15 °C
Pavimentación	10 °C

No se debe imprimir y pavimentar cuando existan condiciones de lluvia.

G.2.7.7.8 Preparación de la superficie

La superficie de la base debe estar totalmente terminada y aprobada por el interventor; debe haberse barrido cuidadosamente, de modo que esté libre de polvo y partículas sueltas. La capa de base debe encontrarse seca y curada 24 a 48 horas. Las áreas en su imprimación o en pavimentos o bases asfálticas son previamente separadas, a entera satisfacción del interventor.

Las losas de concreto y los pavimentos o bases asfálticas, que se han de pavimentar deben limpiarse previamente y estar secas. Deben prepararse con un riego de liga de asfalto RC-250, de 0.2 a 0.6 litros (0.05 a 0.15 galones) por metro cuadrado de superficie. La temperatura de aplicación es de 60 a 80°C.

- a) **Transporte de la mezcla.** Los vehículos en que se transporte de la mezcla a la obra deben limpiarse previamente y mantenerse en ese estado durante toda la operación. Deben tener carpas para evitar el enfriamiento de la mezcla.
- b) **Juntas.** Las juntas de construcción deben tener el borde vertical del pavimento viejo y debe pintarse.

El tráfico no puede darse al servicio antes de seis horas después de terminada la compactación.

c) **Requisitos de compactación.** Las capas de pavimento deben compactarse hasta obtener una densidad de :

- **Base:** 90% a 95% de la densidad teórica máxima de la mezcla, sin vacíos (AASHTO T 209-64 - ASTM D 448 y D 2940)
- **Rodadura:** 93% a 97% de la densidad teórica máxima de la mezcla, sin vacíos (AASHTO T 209-64 - ASTM D 3515 y D 995) y el cumplimiento de la estabilidad y flujo Marshall.

G.2.7.8 PAVIMENTOS CON CEMENTO PORTLAND Y ADOQUINADOS

G.2.7.8.1 Con cemento

Se refiere a la construcción de un pavimento de concreto en cemento Portland de acuerdo con los alineamientos, espesores, dimensiones y pendientes del proyecto.

1. Mezcla de concreto

La mezcla de concreto para pavimentos rígidos debe diseñarse de modo que se cumplan los siguientes requisitos.

- La resistencia mínima a la compresión a los 28 días mínimo de 280 Kg/cm² AASHTO T 22-74 - ASTM C 873, ASTM C 116, ASTM C 39, ASTM C 143 y mínima a la flexión de 40 Kg/cm².
- Relación agua-cemento : 0.53 máximo
- Asentamiento (AASHTO T 119-74) : 6 cm máximo.

2. Cemento Portland

El cemento que se emplee debe ser Portland normal Tipo I, de una marca acreditada que cumpla la especificación M 85-75 de la AASHTO y ASTM 150.

El cemento puede ser suministrado a granel o empacado en bolsas. El almacenamiento debe garantizar perfecta protección contra cualquier clase de humedad en todo tiempo. Debe gastarse en el mismo orden en que se reciba.

Si por efectos de un mal almacenamiento el cemento se ha compactado, formado grumos o ha sufrido deterioro, no puede utilizarse.

3. Agregados

- Fino

El agregado fino debe ser arena limpia, de tipo silíceo y lavada, de granos duros libres de materias orgánicas y polvo. Debe cumplir con la norma AASHTO M 6-65 y ASTM 448.

El módulo de finura debe estar entre 2.5 y 3.0.

La arena debe cumplir la granulometría especificada en la Tabla G.2.14.

TABLA G.2.14
Granulometría

Tamiz	Agregado fino % que pasa
3/8"	100
No. 4	95-100
No. 8	70-90
No. 16	45-80
No. 30	25-55
No. 50	10-30
No. 100	2-10
No. 200	0-5

- Grueso

Debe ser material pétreo triturado de elementos duros y libres de materia orgánica, finos y otros elementos nocivos, de forma sensiblemente cúbica que cumpla la especificación AASHTO M 80-77 - ASTM D 692.

Se debe evitar a toda costa aquellos elementos que contengan mica o cal libre.

El agregado grueso no debe tener una pérdida mayor del 40% en el ensayo de desgaste de la máquina de los ángeles. (ASTM C 535)

El agregado grueso debe cumplir la gradación especificada en la Tabla G.2.15.

TABLA G.2.15
Gradaciones según tamaño máximo del agregado grueso (mm)

Tamiz	Tamaño Máximo del Agregado Grueso (mm)				
	19	25	38	50	65
76,2 mm (3")					100
63,5 mm (2½")				100	90-100
50,8 mm (2")			100	95-100	-
38,1 mm (1C)		100	95-100	-	35-60
25,4(1")	100	95-100	-	35-60	-
19 mm (¾")	90-100	-	35-60	-	10-40
12,7mm (½")	-	25-60	-	10-30	-
4,5 mm (3/8")	20-55	-	10-30	-	0-15
No. 4	0-10	0-10	0-5	0-5	0-5

Las fuentes para la producción de agregados, así como los equipos y procedimientos de explotación y elaboración, deben ser previamente aprobados por el interventor.

4. Agua

El agua que se use para el concreto, mortero y lechada, debe estar limpia, libre de cantidades perjudiciales de aceite, ácidos, sales, álcalis, limo, materia orgánica y otras impurezas. El constructor debe presentar el análisis químico del agua que se propone utilizar.

5. Aditivos

El constructor puede utilizar aditivos para el concreto cuando esto sea estrictamente necesario para mejorar las condiciones o propiedades de la mezcla, previa autorización escrita del interventor. Bajo

ninguna circunstancia se permite el uso de aditivos que contengan cloruro de calcio y otras sustancias corrosivas, especialmente por el ataque a los aceros.

6. Acero de refuerzo

Se deben utilizar varillas de acero, lisas o corrugadas, que cumplan con los requisitos de la norma AASHTO M 31-77 (ASTM A 617) para el grado de acero y distribución especificada en plano. Las varillas de refuerzo deben estar almacenadas bajo techo.

7. Llenantes para juntas

El sellante debe ser un material elástico, del tipo de aplicación en caliente, que cumpla los requisitos de la norma AASHTO M 173-60 y ASTM D 1190. El constructor debe presentar al interventor los ensayos de laboratorio necesarios para demostrar el cumplimiento de las especificaciones.

Si se utiliza un material elástico no extruible (que no se desplace al presiónarlo), éste debe cumplir con las normas AASHTO M 213-74 ó M 153-70 - ASTM D 1190, ASTM D 3581.

Este material puede estar compuesto de caucho esponjoso, corcho o una mezcla de material fibroso con asfalto.

8. Preparación de la base de apoyo

La superficie debe encontrarse totalmente terminada y aprobada por el interventor, de acuerdo con los requisitos de las especificaciones, antes de iniciar la colocación de las formaletas.

9. Formaletas

Se prefiere el uso de formaletas metálicas que tengan una profundidad igual al espesor indicado en el borde de las losas de concreto. No se permiten ajustes de la formaleta para lograr el espesor de la losa, sino mediante aprobación del interventor.

Las formaletas no deben deflectarse más de 6 mm cuando sean ensayadas como viga simple, con una luz de 3 metros y una carga viva igual al de la máquina terminadora.

El ancho mínimo de la base de la formaleta es de 20 cm (8"). Los refuerzos transversales de las aletas se deben extender sobre la base hasta las dos terceras partes de la altura. No deben mostrar deflexiones en ningún punto mayores de 3 mm en 3 metros de longitud y en la parte lateral la deflexión máxima en 3 metros no pasará de 6 mm.

El suelo soporte de las formaletas debe estar compactado y perfilado de acuerdo con la pendiente diseñada, de manera que cuando se coloquen las formaletas, éstas queden uniformemente soportadas en toda su longitud y en las cotas específicas.

Si el nivel del suelo de la fundación queda por debajo de los niveles indicados, el relleno debe hacerse por capas de 2 cm de espesor o menos y 50 cm de ancho mínimo a ambos lados de la base de la formaleta. Cada capa es cuidadosamente compactada con placas vibratorias.

10. Colocación y terminado del concreto

- Generalidades

Estas operaciones deben estar a cargo de personal capacitado, entrenado específicamente para cada parte de la obra a su cargo. El concreto debe depositarse dentro de las formaletas, al ritmo requerido para una correcta y eficiente ejecución del trabajo y en todo caso dentro de los 30 minutos siguientes al momento en que todos los ingredientes se colocan en el tambor de la mezcladora. La temperatura del concreto al colocarse en el sitio no debe ser mayor de 35 °C. La colocación es rápida y continua a lo ancho de la losa. No se permite a los trabajadores pisar el concreto durante la colocación y operación de terminado.

Para evitar la intrusión de lechada de cemento en juntas que se hayan abierto más de 1.6 mm de ancho en las losas laterales continuas a la que se esté construyendo, deben taparse tales juntas con una tira de polietileno u otra membrana impermeable, antes de la colocación del pavimento adyacente.

No puede operarse ningún equipo sobre las losas adyacentes construidas previamente, mientras no se haya obtenido en ellas una resistencia adecuada, de acuerdo con lo indicado por el interventor y en ningún caso, antes de 3 días de fundidas. Además, el equipo debe tener los accesorios adecuados para no deteriorar en ninguna forma la superficie del pavimento adyacente.

Las operaciones de colocación y terminado del concreto no pueden llevarse a cabo en caso de lluvia. El constructor debe disponer de sistemas adecuados para proteger el concreto recientemente colocado, y en proceso de terminación, de cualquier deterioro ocasionado por esta causa.

- Distribución

La distribución del concreto se debe llevar a cabo por medios mecánicos o manuales. En el caso de emplear estos últimos, el concreto debe descargarse de los camiones, mezcladoras u otros por medio de sistemas adecuados que eviten la segregación de la mezcla y la depositen lo más cerca posible de su posición definitiva.

Para la distribución manual del concreto, sólo pueden emplearse palas. El concreto se debe depositar con máximo cuidado en la vecindad de la armadura de las juntas con el fin de evitar su desplazamiento.

- Terminado transversal y compactación

Inmediatamente después de colocado el concreto, debe empujarse, esparcirse y compactarse hasta las cotas de rasante de la sección indicada y a elevaciones tales que se obtengan las de los planos, una vez que el concreto esté terminado y consolidado. La terminadora transversal debe operar de manera que, por delante del emparejador o llana frontal, lleve un rollo de concreto de aproximadamente 15 cm de diámetro, el cual debe mantenerse, en lo posible, uniforme y continuo a todo lo ancho de la losa. Cualquier pérdida en este rollo indica una zona baja y mal consolidada y por lo tanto debe añadirse el concreto necesario, tomándolo directamente del depositado por la mezcladora. En ningún caso puede utilizarse mortero sobrante de las anteriores operaciones. La operación de la máquina debe acompañarse del vibrador completo de concreto, por medio de la unidad vibratoria correspondiente, la cual debe operar de lado a lado de la losa, sin tocar las formaletas.

La terminadora debe hacer dos pasadas, operando la unidad vibratoria sobre cada área de pavimento y puede hacer una o dos adicionales, si fuere necesario, sin vibrador, para compactar el concreto y producir una superficie de textura uniforme y completamente de acuerdo con las cotas del proyecto. Sin embargo, no se permite una manipulación excesiva que traiga a la superficie un exceso de mortero y agua. La parte superior de la formaleta o el borde del pavimento sobre el cual opere la terminadora deben mantenerse limpios.

En la obra debe mantenerse un número suficiente de vibradores manuales y en ningún caso menos de dos en perfecto estado de operación, para utilizarlos en las cercanías de las formaletas y en otros sitios necesarios. Cada aplicación dura máximo, 20 segundos en cada sitio, cuidando su contacto directo con las formaletas. En su operación, los vibradores deben mantenerse por los menos 5 cm sobre la subrasante. La amplitud de la vibración y el espaciamiento de su aplicación son los necesarios para lograr una consolidación satisfactoria del concreto.

No se permite un excesivo vibrado, que produzca segregación del agua o mortero.

El terminado y la compactación manual del concreto se permite solamente en superficies pequeñas de forma complicada o en casos de emergencia por daño de la pavimentadora.

Se debe utilizar una llana enrasada, la cual puede ser fabricada en madera, con el fondo en lámina de hierro, de 25 cm de ancho mínimo suficientemente rígida y dotada de agarrederas en los extremos. Su peso debe ser 20 kg/m mínimo y su largo es tal que permita operarla de borde a borde de la franja, sobre las formaletas, con movimientos alternados transversales para compactar el concreto y emparejarlo conveniente.

La compactación se debe completar con el uso de vibradores manuales de inmersión, de acuerdo con lo indicado por el interventor.

- Acabado longitudinal

La superficie se debe terminar y emparejar longitudinalmente por medio de una llana suficientemente rígida, de no menos de 3.50 m de largo y un ancho en la base de 15 cm, mínimo.

Se debe operar en pontones, colocados transversalmente a la losa, con movimientos longitudinales paralelos al eje. La superficie debe repasarse gradualmente de borde a borde, eliminando el exceso de mortero y lechada que la llana empuje en su operación.

El avance del trabajo, se debe hacer traslapando en cada oportunidad la mitad del largo de la llana.

- Alisado de la superficie

Una vez terminada la operación con llana, pero con el concreto todavía en estado plástico, las pequeñas irregularidades o marcas que pudiera tener la superficie del pavimento deben eliminarse por medio de llanas livianas de madera, dotadas de manijas largas. Las llanas deben tener una longitud de 3 m y deben operarse en el sentido transversal a la losa, desde los lados del pavimento o desde pontones.

- Comprobación de la superficie

La superficie debe comprobarse con reglón o plantilla recta de 3 m de longitud, colocada en posiciones sucesivas, cubriendo toda el área para localizar cualquier irregularidad. Esta plantilla debe tener una manija suficientemente larga para operarla en forma adecuada y debe avanzarse paralela y normalmente al eje de la franja de pavimento en etapas sucesivas no mayores de la mitad longitudinal de la plantilla. Cualquier depresión debe rellenarse inmediatamente con concreto, compactarse, consolidarse y terminarse adecuadamente. En ningún caso se permite el uso de mortero para corregir las depresiones. Cualquier proyección por sobre las cotas del proyecto también debe repararse y terminarse. Los ensayos con la plantilla y el terminado deben continuarse hasta que la totalidad de las superficie del concreto se halle dentro de las tolerancias.

- Terminado final

Cuando la mayor parte del brillo de la superficie del concreto haya desaparecido y antes que se vuelva no plástico, la superficie del pavimento debe barrerse uniformemente, en el sentido transversal a la franja, con cepillos de fibra o esparto que dejen sobre la superficie marcas nítidas, limpias y parejas, con la aprobación del interventor.

11. Juntas

- Generalidades

Una vez efectuado el terminado, deben formarse las juntas indicadas en los planos, para lo cual deben utilizarse todas las herramientas manuales que fueran necesarias en la realización de esta labor en forma rápida y efectiva. Las juntas deben estar en todo de acuerdo con los detalles indicados y ser perpendiculares a la rasante del pavimento terminado. Las juntas transversales de expansión y de contracción deben ser rectas y continuas, de borde a borde del pavimento.

- Juntas de construcción longitudinal

Se localizan entre franjas de pavimento, en los sitios indicados. Deben estar provistas de llaves o cuñas, según los detalles indicados en los planos. Para formar las cajas de las cuñas, se utilizan formaletas; éstas no deben variar más de 1.5 mm de las indicadas. La formaleta para la cuña debe asegurarse rígidamente a la formaleta de la losa en la mitad del espesor del pavimento, dentro de una tolerancia de ± 3.0 mm.

En el caso que se requiera instalar varillas de refuerzo a través de la junta, deben instalarse en su posición correcta antes de fundir el concreto.

Las juntas longitudinales de construcción deben rebordarse para lograr una ranura en la parte superior, de acuerdo con los detalles mostrados en los planos. En el concreto terminado, las llaves deben ser continuas a través de toda la junta de construcción.

- Juntas transversales de construcción

Este tipo de juntas debe instalarse al terminar las operaciones de cada día de trabajo, así como también en cualquier punto de una franja de pavimento donde la colocación del concreto se interrumpa por más de 30 min. Hasta donde sea posible, las juntas transversales de construcción deben instalarse coincidiendo con una junta prevista en los planos. Cuando este no fuera el caso, con la aprobación del interventor, la junta transversal de construcción puede instalarse dentro de una losa individual, pero en la mitad del largo de la placa entre las juntas transversales previstas, de acuerdo con los planos. Las juntas transversales de construcción deben proveerse de varillas de transmisión de esfuerzos, de acuerdo con los detalles de los planos. Cuando la junta de construcción coincida con una junta transversal prevista en los planos, uno de los dos lados de cada varilla debe pintarse y engrasarse para permitir movimiento en la junta. Estas juntas deben rebordarse para proveer una ranura en la parte superior, que esté de acuerdo con los detalles y dimensiones indicados. Sin embargo, en el caso de que la junta se instale dentro de la placa, las varillas no deben pintarse ni engrasarse. Una vez reiniciada la colocación del concreto, el espaciamiento planeado de las juntas debe reanudarse a partir de la primera junta transversal normalmente prevista.

Estas juntas deben hacerse con sierra de corte para concreto después de fraguar el concreto pero antes de la formación de grietas.

- Juntas de expansión

Las juntas de expansión deben formarse colocando en la posición detallada en los planos una lámina del material premoldeado aprobado. Tal material debe mantenerse apropiadamente en la posición correcta por medio de soportes metálicos permanentes. Con el objeto de proteger el material premoldeado de cualquier daño durante las operaciones de fundida, y mantener los elementos de la junta en su correcta posición, debe utilizarse una tapa metálica acanalada removible u otro elemento equivalente. Tal tapa debe removerse sin causar daño al pavimento, con el fin proporcionar espacio para el sellado de la junta. Las secciones adyacentes del llenante deben mantenerse rígidamente juntas para que la lámina se extienda a todo lo largo de la junta requerida, con el objeto de evitar la entrada de concreto al espacio de expansión.

Las juntas de expansión deben formarse alrededor de cualquier estructura o elemento que se proyecte a través, dentro o contra el pavimento, utilizando material premoldeado del tipo aprobado y del espesor y ancho indicados en los planos, instalado de manera que se forme una separación uniforme y completa entre tal estructura y el pavimento.

- Juntas de contracción

Las juntas transversales de contracción deben ser de plano debilitado y se deben construir según los planos. Estas juntas pueden hacerse formando una ranura de las dimensiones exigidas en la parte superior de la losa, mientras el concreto se halla todavía en estado plástico. Tal ranura se forma embebiendo una platina aceitada de diseño aprobado. Esta operación se debe hacer una vez completado el terminado transversal y la compactación del concreto y antes de iniciar el acabado longitudinal. Una vez que el concreto haya endurecido suficientemente pero todavía esté en estado plástico, la platina se removerá parcialmente y se arreglarán los bordes en la forma requerida.

Posteriormente se remueve la platina y se le debe dar a la superficie el barrido final con el cepillo, de modo que el terminado final de la superficie quede uniforme.

Estas juntas pueden también hacerse realizando un corte con sierra especial para concreto, una vez fraguado éste. El corte debe hacerse entre las 8 y las 72 horas después de fundida la losa y en todo caso antes que se inicie la formación de grietas transversales. El equipo y los procedimientos detallados de construcción deben ser aprobados oportunamente por el interventor.

- Refuerzo en las juntas

Donde se indique en los planos, deben colocarse varillas o dovelas del tipo y dimensiones requeridas para transmisión de esfuerzo. Se deben colocar correctamente alineadas y se deben mantener firmes en la posición requerida horizontal y verticalmente, durante las operaciones de fundida del concreto.

En juntas de construcción longitudinales y transversales, las dovelas deben mantenerse firmemente en su lugar, como se indica en los planos, por medio de elementos metálicos de fijación aprobados. La porción de cada varilla que deba introducirse dentro del concreto o la tapa de dilatación debe pintarse con una capa de pintura anticorrosiva; la porción pintada debe limpiarse y cubrirse con una película de grasa, antes de fundir el concreto.

12. Curado.

El concreto del pavimento debe curarse, aplicándole a la superficie un compuesto líquido de curado por membrana impermeable o cualquier otro método equivalente.

- a) Antes de iniciar las operaciones de colocación del concreto, debe estar preparado, listo y aprobado todo el equipo para el curado del concreto.
- b) Las operaciones de colocación del concreto se deben suspender en caso de fallas en el aprovisionamiento del material de curado aprobado previamente o a deficiencias en el equipo de aplicación, de acuerdo con el interventor.
- c) Dentro de la siguiente hora después de removidas las formaletas debe darse a las superficies expuestas un tratamiento de curado similar al de la superficie de las losas.
- d) El compuesto debe aplicarse después del terminado final, una vez desaparecido el brillo del agua libre de la superficie del pavimento.
- e) La superficie del concreto no debe dejarse secar antes de la aplicación del compuesto de curado por membrana, para lo cual en caso necesario debe aplicarse un rociado fino de agua.
- f) El compuesto de curado se debe aplicar por medio del equipo de fumigación apropiado, del tipo aprobado por el interventor. Éste debe tener boquillas graduables, elementos para agitar continua y enérgicamente el compuesto en el tanque y sistemas para mantener una presión constante adecuada que produzca un rociado fino y uniforme para cubrir completamente la superficie del pavimento con la cantidad de compuesto exigida.
- g) El equipo debe mantenerse en condiciones apropiadas de operación y las boquillas deben tener adecuada protección contra el viento.
- h) El compuesto debe aplicarse en dos capas, aplicando la segunda en una dirección aproximadamente normal a la primera. Por cada capa deben cubrirse no más de 10 m² por litro.
- i) El compuesto debe formar una película uniforme, continua y cohesiva que no se rompa, agriete o dañe y que esté libre de irregularidades.
- j) Las superficies que presenten imperfecciones en el curado o las que estén sujetas a lluvias fuertes dentro de las tres horas siguientes a la aplicación del compuesto, deben recibir una aplicación adicional del compuesto.
- k) Deben tomarse todas las precauciones necesarias para asegurar que el concreto esté curado convenientemente en las juntas, pero que no penetre dentro de ellas. La parte superior de la abertura de la junta y la ranura de la misma, en los bordes expuestos, debe sellarse herméticamente antes que el concreto en la zona de la junta sea rociado con el compuesto de

curado. El método utilizado para sellar la ranura de la junta debe evitar cualquier pérdida de humedad de la misma durante la totalidad del período especificado de curado.

- l) Las superficies de concreto a las cuales se haya aplicado la membrana de curado deben protegerse cuidadosamente durante todo el período de curado, para evitar cualquier posible daño. No se permite ninguna clase de tráfico. Donde la membrana hubiere sido dañada por operaciones posteriores de construcción, dentro del período de curado, debe repararse correctamente de acuerdo con lo indicado por el interventor.

13. Remoción de formaletas

Las formaletas deben dejarse en su sitio por lo menos 12 horas después de colocado el concreto. En caso de presentarse condiciones que hubieran demorado el pronto fraguado del concreto, las formaletas deben mantenerse en el sitio por períodos mayores, de acuerdo con lo indicado por el interventor. Las formaletas deben quitarse sin dañar el concreto. Para tal operación no pueden utilizarse contra el concreto herramientas o barras pesadas. Cualquier concreto que se encuentre defectuoso una vez quitada las formaletas, debe repararse satisfactoriamente e inmediatamente por el constructor.

Así mismo, deben removerse las costras e irregularidades dejadas por el mortero contra la superficie, arreglando perfectamente los bordes de la losa y abriendo cuidadosamente la ranura de las juntas transversales en el borde de la losa.

14. Sellado de las juntas

- Material de sellado

El material de sellado de las juntas puede ser un sellador de poliuretano o un material elástico del tipo aplicado en caliente, el cual se aplicará previa aprobación del interventor.

- Tiempo de aplicación

Las juntas deben sellarse inmediatamente después de transcurrido el período de curado o tan pronto las condiciones del tiempo lo permitan. En la aplicación del sellado, el tiempo no puede ser lluvioso. Debe contarse con la aprobación del interventor antes de realizar estas operaciones.

- Equipo

Todos los equipos necesarios para la correcta ejecución de estos trabajos, deben encontrarse en la obra, en correctas condiciones de operación, revisado y aprobados por el interventor, antes de la iniciación de los correspondientes trabajos.

El aparato de calentamiento es un calentador del tipo "baño de maría". No se permiten métodos directos de calentamiento. Una vez calentado el material, debe mantenerse a una temperatura constante hasta su colocación en la junta.

El equipo de vertimiento del material puede consistir de un recipiente manual o de una marmita montada sobre ruedas, con válvulas de vertimiento.

El equipo para limpiar las ranuras de las juntas debe constar de todos los elementos mecánicos y manuales, como cepillos de diferentes clases, compresores de aire, etc., que sean necesarios para lograr una junta completamente limpia y seca, con la aprobación del interventor.

- Preparación de las juntas

Inmediatamente antes de sellarlas, las juntas deben limpiarse rigurosamente, de cualquier materia extraña, compuesto de curación, protuberancias de concreto, polvo, o cualquier otro material. Cuando sea necesario sellar grietas aisladas, éstas deben ranurarse y limpiarse satisfactoriamente, para sellarlas por métodos y con el equipo similar al empleado para las juntas.

- Colocación de llenante

Debe colocarse suficiente material sellante en las juntas, de manera que al terminar el trabajo, la superficie del llenante en la junta, esté dentro de los 5 mm por debajo del nivel de la superficie del

pavimento. El constructor debe ajustar o rellenar cualquier junta que no esté satisfactoriamente sellada de acuerdo con lo indicado por el interventor.

Cualquier exceso de llenante en la superficie del pavimento debe removerse y la superficie dejarse completamente limpia.

15. Tolerancias

Los pavimentos deben construirse con los espesores indicados en los planos. Las superficies terminadas deben estar de acuerdo con las rasantes del proyecto y a los requisitos de uniformidad indicados adelante.

- Cumplimiento de las cotas del proyecto : las superficies terminadas de los pavimentos, deben estar de acuerdo con las rasantes del proyecto, en el caso de áreas adyacentes a las estructuras de drenaje y otras. Se admiten variaciones entre las cotas finales y las del proyecto, de ± 1.0 cm. Sin embargo, se exige un ajuste más estrecho con las elevaciones del proyecto, en el caso de áreas adyacentes a las estructuras de drenaje y otras.
- Requisitos de uniformidad de superficie : las superficies terminadas, no deben mostrar irregularidades mayores de 5 mm al comprobarlas con una regla patrón de 3.00 m de largo.
- Espesor de pavimentos : se admiten deficiencias en el espesor del pavimento menores o iguales a 0.5 cm.
- Las áreas de pavimento deficientes en espesor de losas en más de un cm deben removerse y reemplazarse satisfactoriamente por el constructor, a su propia costa.
- Resistencia del concreto : la resistencia promedio a la compresión de un juego de tres cilindros de concreto, ensayadas a los 28 días de fundido y correspondientes a la misma mezcla, no debe ser menor que la resistencia mínima especificada, de acuerdo con los planos y las especificaciones del diseñador.

16. Correcciones, reparaciones y reemplazo de áreas defectuosas

Las losas que presenten grietas, desportilladuras, hormigueros y otros defectos, deben repararse satisfactoriamente por los métodos aprobados por el interventor o reconstruirse totalmente por el constructor a su costa, de acuerdo con las instrucciones del interventor.

Todas las áreas que presenten uniformidad poco satisfactoria o defectuosa con respecto a los requisitos de rasante del proyecto o resistencia del concreto, deben removerse y reemplazarse satisfactoriamente por el constructor a su propia costa y con la aprobación del interventor.

17. Control

Durante la construcción del pavimento de concreto, el interventor debe llevar un control permanente del cumplimiento de los requisitos de uniformidad de superficie y de conformidad de cotas.

El control del espesor del pavimento se debe realizar por medio de medidas en núcleos extraídos en sitios seleccionados del pavimento, dentro de las dos semanas siguientes a la pavimentación. Como mínimo se deben tomar un núcleo por cada 350 m². de franja de pavimento. La toma de núcleos y su medida se debe hacer según las normas AASHTO T 24-68, T 148-49. En casos especiales el interventor puede acordar con el constructor la utilización de otro tipo de sistemas adecuados para el control de espesores.

El control del concreto del pavimento se debe realizar en un todo de acuerdo con las normas del literal G.2.6.7.3. Adicionalmente, siempre que el interventor lo considere conveniente y para el propósito exclusivo de control de calidad de la mezcla y no con el objeto de comprobación de los requisitos de resistencia, se deben tomar en el terreno viguetas para hacer ensayos de flexión de concreto. Se debe tomar como mínimo un juego de 6 viguetas de acuerdo con la normas AASHTO T 23-76 y se ensayarán según las normas AASHTO T 97-76, ASTM C 293 y ASTM C 78.

18. Apertura al tráfico

No puede permitirse el tráfico de vehículos, ni siquiera los del constructor, sin la autorización del interventor. El constructor debe tomar las medidas convenientes para cumplir lo anterior durante el tiempo que fuera necesario de acuerdo con el interventor.

El hecho de autorizar el tráfico no implica que el pavimento haya sido aceptado y recibido oficialmente.

19. Pavimento articulado

La subrasante debe tener una compresión homogénea, libre de materia orgánica y se debe compactar lo necesario para proporcionar un soporte uniforme al pavimento.

A la subrasante se le deben dar las características geométricas especificadas para la superficie de adoquines (perfiles), de manera que tanto la base como la capa de arena puedan colocarse cada una con un espesor uniforme en toda el área del pavimento y obtener en la superficie de éste, los perfiles especificados.

La base es en material granular, suelos estabilizados o concreto pobre. La base granular debe cumplir con las especificaciones formuladas para bases en esta norma.

La capa de arena que se utilice para conformar la capa sobre la que se deben colocar los adoquines, debe estar libre de materia orgánica, mica, contaminantes y debe tener una granulometría tal que la totalidad pase por el tamiz 3/8" y no contenga más de cinco (5%) por ciento que pasa por el tamiz No. 200. (Ver Tabla G.2.16)

TABLA G.2.16
Gradación del llenante mineral

Tamiz	% que Pasa en Peso
3/8"	100
No. 4	85-100
No. 8	70-100
No. 16	50-95
No. 30	25-60
No. 50	10-35
No. 100	0-15
No. 200	0-15

Los adoquines deben cumplir la norma NTC 2017.

Los adoquines deben colocarse directamente sobre la capa de arena ya enrasada, a tope, de manera que las caras queden en contacto unas con otras, con lo cual se generan juntas que no deben exceder los 5 mm.

La compactación inicial de los adoquines se debe hacer con máquinas de placa vibrocompactadora y la compactación final se puede hacer con pequeñas compactadoras de rodillo o llantas neumáticas.

La nivelación transversal y longitudinal se controla por medio de hilos. En sitios que presenten pendiente, la instalación se debe hacer de abajo hacia arriba.

Una vez finalizada la colocación de los adoquines que se han podido posicionar enteros dentro de la zona de trabajo, se parten adoquines con la forma geométrica adecuada que se ajuste a las estructuras de confinamiento o de drenajes. El mortero de sellado debe tener una proporción cemento:arena 1 :4 con una relación agua-cemento de 0,45.

Cualquier adoquín que resultare roto durante el proceso de compactación debe ser reemplazado.

La máxima tolerancia en cota de terminación del adoquinado es 15 mm por encima del nivel de cualquier estructura existente dentro del pavimento (cunetas de concreto, sumideros, llaves transversales u otros).

El espesor del adoquín debe ser 6 cm para tránsito peatonal y 9 cm para tránsito vehicular.

G.2.8 OTROS

G.2.8.1 ALCANCE

Las disposiciones establecidas en el literal G.2.8 deben adoptarse por igual en todos **Niveles de Complejidad del Sistema**.

G.2.8.2 ARREGLO DE ANDENES Y SARDINELES (BORDILLOS)

G.2.8.2.1 Objetivo y Alcance

Este literal es aplicable en la reparación de andenes destruidos por causa de las excavaciones. Se deben construir andenes de las dimensiones y localización mostradas en los planos o en los que señale el interventor.

G.2.8.2.2 Materiales

Los materiales y las mezclas en concreto deben cumplir las especificaciones dadas por las normas ICONTEC NTC 121 y 174. Los rellenos para la base de los andenes deben cumplir con las especificaciones dadas en el literal G.2.5.4.

1. Andenes en concreto

Las losas de concreto para andenes y pisos, se deben construir de acuerdo con los requisitos que se encuentran en el literal G.2.6.8 .

La colocación y terminado del concreto, se deben efectuar por sistemas manuales aprobados.

Las juntas de construcción y contratación se deben realizar de acuerdo con los detalles de los planos. En los casos en que se requieran juntas en ladrillo tolete, éstos se deben colocar con mortero en proporción cemento:arena 1:4 en la posición correcta indicada en los planos.

El terminado final de la superficie deben realizar con llana de madera, dejándola uniforme y pareja pero no excesivamente pulida.

En el caso de que se prevea su revestimiento en ladrillo tablón u otro material, la superficie se debe dejar lo suficientemente rugosa, para lograr una buena pega del material de revestimiento.

2. Andenes asfálticos:

Los andenes en concreto asfáltico, se construyen de acuerdo con los requerimientos aplicables del literal G.2.6.3, utilizando métodos manuales para la colocación de la mezcla y equipos de compactación adecuados para las características del trabajo.

3. Andenes con otros materiales

Se deben si el caso ejecutar en ladrillo de primera calidad en forma de baldosas con una superficie antideslizante, con espesor de 2.5 cm, en los lugares, dimensiones y detalles que indiquen los planos. Sobre el entresuelo o sobre una base de concreto, a juicio del interventor se debe colocar una capa de mortero 1:4 de consistencia seca, con espesor mínimo de 3 cm y con pendiente adecuada hacia los drenajes. Sobre el mortero fresco, se deben colocar las tabletas, presentando una superficie pareja, libre de resaltos o deformaciones.

Cuando lo indiquen los planos, se deben ejecutar pisos combinados de ladrillo vitrificado, granito lavado, baldosín u otros pisos, los cuales se deben construir conforme a los dibujos consignados y según lo establecido en este numeral.

4. Sardinel o Bordillo en concreto con sus respectivas especificaciones.

G.2.8.3 ARREGLO DE ZONAS VERDES

G.2.8.3.1 Objetivo y alcance

Los siguientes literales comprenden las exigencias mínimas para la ejecución de empedrados, el revestimiento de taludes de terraplenes, cortes y otras áreas del proyecto, ya sea mediante el trasplante de bloques de césped o el recubrimiento con tierra orgánica y la subsiguiente siembra, de acuerdo con los planos o en sitios determinados por la autoridad competente.

G.2.8.3.2 Materiales

Los materiales a utilizar deben tener las siguientes características:

1. Tierra vegetal

La tierra vegetal para empedrados debe ser un suelo fértil, con buenas características de drenaje, libre de raíces y otros materiales extraños o nocivos.

2. Semilla

La semilla debe ser, suministrada en sacos cocidos y aceptablemente identificados para certificar la calidad, germinación, peso, porcentaje de semilla pura y viva, etc.

3. Céspedes

Los céspedes deben provenir de campos sanos, libres de maleza y elementos perjudiciales.

4. Fertilizantes

Los fertilizantes a utilizar pueden ser de cualquier marca comercial de reconocida calidad.

G.2.8.3.3 Construcción

1. Siembra de superficies

La grama se debe colocar sobre un suelo que no contenga grietas, protuberancias, ni escombros. La superficie debe ararse e incorporarse las adiciones (abonos, tierra vegetal). Se debe producir una manta uniforme, del espesor previsto y con la densidad de raíces necesarias para lograr una adecuada protección, garantizando una germinación y cubrimiento de un 80% de la siembra.

2. Implantación de céspedes

Los céspedes se deben implantar sobre una capa de tierra vegetal de 5 cm de espesor. Cada bloque se debe apisonar para mejorar el contacto con los otros, para evitar bolsas de aire y obtener una superficie uniforme en donde la grama crezca fácilmente y evite que el material bajo el césped sea arrastrado por la lluvia. La implantación debe lograr un cubrimiento del 95%.

3. Responsabilidad y conservación de la superficie

El constructor es responsable de la calidad del empedrado resultante, y de su protección contra la acción del tráfico de personas. También tiene a su cargo el mantenimiento y limpieza de la grama hasta que se establezca un cubrimiento uniforme y natural.

G.2.8.4 PAISAJISMO

G.2.8.4.1 Objetivo y alcance

En los siguientes literales se establecen los criterios básicos para la construcción de las distintas obras de concreto, mampostería, madera y otros materiales como consecuencia de los trabajos que hacen parte del paisajismo en la zona de construcción del proyecto.

G.2.8.4.2 Materiales

1. Concreto

Los materiales y las mezclas en concreto deben cumplir las especificaciones dadas por las normas ICONTEC NTC 121 y 174

2. Ladrillo

Los ladrillos que se emplean en las obras, deben ser fabricados a máquina, de primera calidad, sólidos, bien cocidos, de forma y dimensiones regulares y textura compacta. No deben presentar resquebrajaduras, fisuras, grietas y defectos similares.

Al ensayar los ladrillos según la norma AASHTO T 32-70 y NTC 688, deben cumplir los siguientes requisitos :

- Resistencia mínima a la compresión de 175 Kg/cm² (Area Bruta).
- Porcentaje máximo de absorción de agua 22%. (5 horas en agua hirviendo).

Los ladrillos tablonos deben cumplir los siguientes requisitos : ser vitrificados, de las dimensiones y color exigidos en los planos, con aristas y estrías definidas y uniformes.

3. Piedra para muros

Para la fabricación de muros, se deben utilizar piedras seleccionadas según lo especificado en los planos. La forma de las piedras debe ser aproximadamente cúbica, de tamaño apropiado para ser utilizarlo en la construcción y sus caras adecuadamente planas y uniformes. Así mismo deben encontrarse en condiciones adecuadas de limpieza, ser duras, sanas y libres de grietas y partículas sueltas. El constructor debe suministrar muestras de la piedra que se va a emplear, con anterioridad a la iniciación de la obra. Con el fin de obtener la aprobación por parte del interventor. Los equipos deben ser de la mejor calidad comercial existente en el mercado.

G.2.8.4.3 Construcción

1. Muros y obras de mampostería

Los muros se deben construir con los ladrillos o piedras acuerdo con los detalles de los planos. La pega se debe hacer con mortero en proporción cemento:arena 1:3, el cual se mezcla exactamente en las proporciones especificadas y solo en la cantidad que pueda necesitarse para su uso inmediato. No se puede utilizar ningún mortero para el cual haya ocurrido el fraguado inicial.

Los ladrillos o piedras se deben limpiar y mojar completamente poco antes de utilizarlos y cada uno se coloca con la cama y unión llenas de mortero sin que haya necesidad de inyectar mortero posteriormente o de rellenar.

Las juntas entre ladrillos no deben exceder 13 mm, y se emparejan a ras del ladrillo a menos que se indiquen juntas especiales.

En los muros de piedra, éstas deben colocarse en forma de lograr el mejor trabe posible. Los intersticios entre una y otra deben ser mínimos y deben quedar rellenos de mortero. Las superficies descubiertas, deben quedar uniformes, parejas, con juntas nítidas y las piedras limpias, libres de manchas de mortero o desperfectos. Para este trabajo debe emplearse personal especializado. Deben cumplirse los requisitos adicionales establecidos en el Título D de las *Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-98*.

2. Enchapado en granito y en gravilla lavada

El enchapado de granito se debe colocar en los lugares indicados en los planos o en los sitios determinados por la autoridad competente.

La capa de granito, consta de una mezcla homogénea de fragmentos de mármol de la mejor calidad, tamaños 1 y 2, seleccionados convenientemente para producir uniformemente el color y tipo requeridos, con cemento blanco, en una proporción de 3 partes de fragmentos de mármol y una de cemento.

La capa de granito de espesor 2 cm. Debe colocarse sobre una capa de asiento, de mortero en proporción cemento:arena 1: 2, fundida con corta anticipación sobre la base de concreto.

Las superficies, deben quedar completamente uniformes, lisas y niveladas, de acuerdo a los planos. El curado es muy cuidadoso y una vez transcurrido este período, el granito se debe pulir con piedras de carborandum No.60 a 80 finalmente con 120. Una vez terminado este trabajo, debe repararse cualquier defecto con la aprobación del interventor.

El enchape en gravilla lavada, se contruye en forma similar al anterior, utilizando gravilla uniforme, clasificada, arena y cemento gris, en proporciones cemento:arena:gravilla 1:3:3. Luego de un tiempo prudencial de fraguado, que asegure que las partículas de gravilla, no se despeguen o afloje, se lava la superficie con cepillo metálico y agua abundante, hasta que la gravilla quede a la vista. En todos los casos, deben dejarse las juntas de dilatación indicadas en los planos acordados con la interventoría.

CAPÍTULO G.3

G.3. ASPECTOS ESTRUCTURALES

G.3.1 GENERALIDADES

G.3.1.1 ALCANCE

El propósito de este capítulo es fijar los criterios básicos y requisitos mínimos que deben reunir los aspectos estructurales relacionados con los diferentes procesos relacionados con los análisis y diseños estructurales correspondientes a los sistemas de agua potable y saneamiento básico que se desarrollen en la República de Colombia, con el fin de garantizar su seguridad, durabilidad, funcionalidad, calidad, eficiencia, sostenibilidad y redundancia dentro de un **Nivel de Complejidad** determinado.

El presente capítulo incluye las siguientes actividades que forman parte de los aspectos estructurales:

- Efectos de cargas externas
- Diseño de tuberías para sistemas de acueducto y alcantarillado
- Diseño de tuberías para sistemas de alcantarillado
- Tanques y compartimientos estancos

Los literales de este capítulo aplican para la totalidad de los **Niveles de Complejidad del Sistema**.

G.3.1.2 NOMENCLATURA DE VARIABLES

A	= área de la sección transversal de la unión	m ²
A _p	= ángulo que forma el perímetro de la tubería con el apoyo efectivo	°
A _s	= área de la sección transversal del anillo de rigidización	m ²
B'	= coeficiente empírico de soporte elástico	-
B _d	= ancho de la zanja en la parte superior de la tubería	m
c	= ancho del anillo de rigidización en contacto el cilindro	m
C _c	= coeficiente adimensional de carga	-
C _d	= coeficiente adimensional de carga	-
C _n	= coeficiente de carga para tuberías con proyección negativa	-
C _s	= coeficiente de carga	-
C _T	= coeficiente de expansión térmica	mm/mm/°C
d _c	= deflexión vertical de la tubería, o sea el acortamiento en su dimensión vertical	m
d _n	= diámetro al eje neutro de la lámina	m
D	= diámetro nominal de la tubería	m
D _e	= diámetro externo de la tubería	m
D _f	= desviación en la parte final libre del tubo	°
D _i	= diámetro interno de la tubería	m
D _j	= diámetro de la unión	m
D _l	= factor de retardo de la deflexión (1.0-1.5)	-
D _L	= factor de retardo en la deflexión	-
DR	= relación de dimensiones	-
D _{yi}	= diámetro interno del cilindro	m

Δ	= deflexión horizontal o vertical de la tubería	m
Δ_d	= ángulo de deflexión en el cambio de dirección	°
Δ_x	= deflexión horizontal de la tubería	m
Δ_y	= deflexión vertical	m
Δ_{yp}	= deflexión preestablecida durante el ensayo	m
e	= base de logaritmo natural	-
e_{min}	= espesor mínimo de la pared	m
E	= módulo de elasticidad del material de la tubería	Mpa
E'	= modulo de reacción de la subrasante	Mpa
E_a	= módulo de elasticidad del acero	Mpa
E_c	= módulo de elasticidad del mortero o concreto	Mpa
E_s	= módulo de Young	Mpa
ϕ'	= ángulo de fricción interna entre el material del relleno y el suelo	°
f_b	= esfuerzo longitudinal a flexión en el cilindro por los anillos de rigidización	Mpa
f'_c	= esfuerzo a compresión nominal especificado para el concreto	Mpa
f_s	= esfuerzo circunferencial admisible en el cilindro de acero para la presión de trabajo	Mpa
f_{sd}	= relación de asentamientos	-
f_y	= resistencia a la fluencia mínima especificada para el material	Mpa
F	= fuerza por unidad de longitud	N/m
F_f	= factor de forma de la tubería	-
F_l	= fuerza lateral	N
FI	= factor de impacto	-
FS	= factor de seguridad	-
FT1	= combinación de los factores de diseño de la carga actuante y de la presión del ensayo de campo	-
FT2	= combinación de los factores de diseño de la carga actuante y de la presión del ensayo de campo	-
FW1	= combinación del factor de diseño de la carga actuante	-
FWT1	= combinaciones de los factores de diseño de la carga actuante mas el de la carga transiente y el de la presión interna.	-
FWT6	= combinaciones de los factores de diseño de la carga actuante mas el de la carga transiente y el de la presión interna.	-
γ_c	= peso específico del concreto reforzado	N/m ³
γ_m	= peso específico del mortero	N/m ³
γ_r	= peso unitario del material de relleno	N/m ³
γ_s	= peso específico del acero estructural	N/m ³
γ_w	= peso específico del agua	N/m ³
h_w	= altura de la superficie de agua por encima de la tubería	m
H	= altura del relleno por encima de la parte superior del tubo	m
HDB	= esfuerzo hidrostático de diseño para PVC	Mpa

I	= momento de inercia de la sección transversal de la pared del tubo ($t^3/12$)	m^4/m
I_b	= momento de inercia de la sección transversal de la pared del tubo	m^4
I_p	= intensidad de la carga distribuida	Pa
I_s	= momento de inercia del acero	m^4/m
k	= relación de Rankine de presión lateral unitaria a presión vertical unitaria.	-
K	= factor de soporte	-
K_t	= rigidez del tubo	N/m
L	= longitud del tubo	m
L_c	= longitud crítica para que se presente colapso por presión interna	m
L_e	= longitud efectiva de la tubería	m
L_f	= factor de soporte para tuberías rígidas	-
L_l	= longitud libre del tubo entre elementos de refuerzo	m
μ'	= coeficiente de fricción entre el material de relleno y las paredes de la zanja	-
μ	= coeficiente de fricción interna del material o suelo	-
m	= fracción del diámetro de la tubería de alcantarillado sobre la cual la presión lateral es efectiva	-
M	= longitud de la zona de carga distribuida	m
M_s	= módulo confinado	Mpa
N	= parámetro función de la clase de soporte	-
ρ	= relación de proyección positiva	-
ρ'	= relación de proyección negativa	-
P	= reacción total en el apoyo	N
PC	= clase de presión (presión normal de trabajo)	MPc
P_c	= presión de colapso	Mpa
P_{cs}	= carga concentrada en superficie	N
P_{ft}	= presión interna de ensayo de campo	Mpa
P_g	= presión interna determinada con el gradiente hidráulico	Mpa
P_i	= presión interna	Mpa
$P_{m\acute{a}x}$	= máxima presión interna de diseño	Mpa
P_0	= presión del suelo	Mpa
P_s	= presión interna determinada por la cabeza hidráulica	Mpa
P_{sp}	= reserva para sobrepresiones	Mpa
P_t	= presión transiente interna	KPa
P_v	= presión interna de vacío	Pa
P_w	= presión interna de trabajo	Mpa
q	= relación entre la presión lateral total y la carga vertical total sobre la tubería	-
q_a	= presión admisible de pandeo	Pa
q_{ext}	= presión externa actuante	Pa
Q	= ancho de la zona de carga distribuida	m
r	= radio medio del tubo	m
r_y	= radio medio del cilindro del accesorio	m
R_b	= radio de flexión del tubo longitudinal	m
$R_{b\acute{m}in}$	= radio mínimo de flexión del tubo	m

R_w	= factor de flotación del agua	-
S_a	= esfuerzo admisible que depende del material	Mpa
S_{adm}	= esfuerzo admisible de diseño	Mpa
S_b	= esfuerzo admisible a flexión	Mpa
S_d	= asentamiento del suelo desde la superficie	m
S_f	= asentamiento total de la parte inferior de la tubería	m
S_{fi}	= esfuerzo de flexión en la luz para la tubería con extremos sin restricción	Mpa
S_g	= asentamiento del suelo natural adyacente a la tubería	m
S_l	= esfuerzo localizado en el apoyo	Mpa
S_{max}	= máximo esfuerzo actuante en la tubería original del terreno hasta la parte superior de la tubería o sea la columna de suelo $\rho'B_d$	Mpa
S_m	= compresión de la columna de suelo de altura ρD_e	m
S_p	= esfuerzo anular debido a la presión interna del agua	Mpa
$S_{tmáx}$	= máximo esfuerzo en el apoyo (montura o silla)	Mpa
S_t	= esfuerzo de tensión por efectos longitudinales	Mpa
S_{Temp}	= esfuerzo producido por cambios de temperatura del material	Mpa
t	= espesor de la pared del tubo	m
t_c	= espesor del recubrimiento externo	m
t_i	= espesor del revestimiento interno	m
t_y	= espesor del cilindro	m
t_{min}	= mínima temperatura	°C
t_{max}	= máxima temperatura	°C
T	= empuje hidrostático	N
T'	= factor de temperatura	-
T_r	= espesor del cilindro de acero	m
ν	= relación de Poisson	-
W	= carga sobre la tubería	N/m
W_c	= carga sobre tubería con proyección positiva	N/m
W_d	= carga muerta del suelo sobre la tubería	N/m
W_e	= carga muerta externa	N
W_f	= peso del fluido	N
W_l	= carga viva actuante sobre el tubo por unidad de longitud	N/m
W_n	= carga del relleno en proyección negativa sobre tubería	N/m
W_p	= peso de la tubería	N
W_{sc}	= carga sobre la tubería actuando sobre la longitud efectiva L_e	N/m
W_t	= cargas transientes	N
$W1$	= combinaciones de la carga de diseño y la presión interna	-
$W2$	= combinaciones de la carga de diseño y la presión interna	-
$WT 1$	= combinación de la carga de diseño más la marga transiente y la presión interna	-
$WT 3$	= combinación de la carga de diseño más la marga transiente y la presión interna	-

x = parámetro que depende del área sobre la cual actúa la presión lateral

G.3.1.3 NORMAS TÉCNICAS REFERENCIADAS

Las siguientes son las normas técnicas del Instituto Colombiano de Normas Técnicas (ICONTEC), de la Sociedad Americana para Ensayos de Materiales (ASTM), de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO); del American Petroleum Institute (API), de la National Sanitation Foundation (NSF), de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS), del International Standard (ISO), a las cuales hace referencia el capítulo G.3 de este Título, haciendo parte integral del mismo.

G.3.1.3.1 Normas técnicas promulgadas por el ICONTEC

NTC 10	Clasificación de tubos de acero.
NTC 11	Tubería metálica. Tubos de acero al carbono de acero aleado ferrítico y de acero aleado austenítico, con y sin costura. Requisitos generales.
NTC 44	Ingeniería Civil y Arquitectura. Tubos y juntas de asbesto-cemento para conducción de fluidos a presión.
NTC 212	Ensayos de resistencia para tubos de concreto y de gres por el método de los tres apoyos.
NTC 268	Tubos sanitarios de asbesto cemento.
NTC 357	Tubos y accesorios de gres de resistencia normal.
NTC 369	Plásticos. Compuestos rígidos de poli(cloruro de vinilo) (PVC) y compuestos de poli(cloruro de vinilo) clorado (CPVC)
NTC 382	Plásticos. Tubos de policloruro de vinilo (PVC) clasificados según la presión (serie RDE)
NTC 384	Ingeniería Civil y Arquitectura. Asbesto-cemento. Tubos para alcantarillado.
NTC 401	Ingeniería Civil y Arquitectura. Tubos de hormigón reforzado para alcantarillados.
NTC 487	Manguitos de asbesto-cemento.
NTC 539	Plásticos. Tubo de poli (cloruro de vinilo) (PVC) y de poli(cloruro de vinilo) clorado (CPVC) para conducción de agua potable. Requisitos de atoxicidad.
NTC 747	Tubos de presión tipo cilindro de acero con recubrimiento de hormigón, mortero o ambos.
NTC 1022	Ingeniería Civil y Arquitectura. Tubos de concreto sin refuerzo para alcantarillado.
NTC 1087	Tubos de policloruro de vinilo (PVC) rígido para uso sanitario.
NTC 1328	Ingeniería Civil y Arquitectura. Juntas flexibles para la unión de tubos circulares de concreto.
NTC 1339	Accesorios de PVC rígidos para transporte de fluidos en tuberías a presión.
NTC 1341	Accesorios de PVC rígidos para tuberías sanitarias.
NTC 1747	Plásticos. Tubos de polietileno PE especificados por su diámetro interior (RDIE-PM)
NTC 1748	Tubos de policloruro (PVC) rígido para alcantarillado.
NTC 1907	Siderurgia. Alambre de acero para concreto armado.
NTC 2010	Siderurgia. Cordones de acero de 7 alambres sin recubrimiento, para concreto pretensado.
NTC 2043	Metalurgia. Mallas fabricadas con barras corrugadas de acero para hormigón reforzado.
NTC 2091	Tubería metálica. Tubería de acero corrugado y galvanizado para alcantarillado y drenaje subterráneo.
NTC 2295	Plásticos. Uniones mecánicas con sellos elastoméricos para tubos y accesorios de PVC rígido en transporte de agua a presión..
NTC 2346	Mecánica. Accesorios en hierro dúctil y/o hierro gris para agua y otros líquidos. Serie inglesa.
NTC 2534	Uniones mecánicas para tubos plasticos de desagüe y alcantarillado.
NTC 2587	Tuberías metálicas. Tuberías de hierro dúctil. Acoples y accesorios para líneas de tuberías de presión.

NTC 2629	Tubería metálica. Tubería de hierro dúctil. Revestimiento de mortero-cemento centrifugado. Controles de composición del mortero recientemente aplicado.
NTC 2697	Plásticos. Accesorios de PVC rígido para tubería de alcantarillado.
NTC 2836	Materias primas para pintura resina epoxicas.
NTC 2888	Láminados de plásticos termoestables reforzados moldeados por contacto para equipos resistentes a la corrosión.
NTC 2983	Plásticos. Determinación del grado de ablandamiento de tubería de poli(cloruro de vinilo) (PVC) extruido y accesorios moldeados por inmersión en acetona.
NTC 3254	Plásticos. Determinación de las características de carga exterior de tubería por medio de platos paralelos.
NTC 3257	Plásticos. Determinación de la base del diseño básico hidrostático para tuberías de material plástico.
NTC 3358	Plásticos. Determinación de las dimensiones de tubería y accesorios termoplásticos.
NTC 3359	Tubería rígida para alcantarillado en hierro dúctil .
NTC 3409	Plásticos. Accesorios de polietileno(PE) para unión por fusión a tope con tubería de polietileno (PE).
NTC 3410	Plásticos. Accesorios de polietileno tipo campana para tubería de polietileno con diámetro exterior controlado tipo IPS o CTS.
NTC 3470	Tubería metálica. Tubos de acero soldados y sin costura, negros y recubiertos de zinc por inmersión en caliente.
NTC 3526	Ingeniería Civil y Arquitectura. Juntas de compresión para tuberías y accesorios de gres.
NTC 3578	Plásticos. Determinación del tiempo hasta la falla, de tubería plástica sometida a presión interna constante.
NTC 3579	Plásticos. Determinación de la presión hidráulica de rotura a corto plazo en tubos y accesorios de plástico.
NTC 3640	Plásticos. Tubos corrugados en policloruro de vinilo (PVC) con interior liso y accesorios para alcantarillado.
NTC 3664	Tubos de Polietileno (PE) para transporte agua a presión serie inglesa.
NTC 3694	Plásticos. Tubos tipo CTS de polietileno (PE)
NTC 3721	Plásticos. Tubos ligeros y accesorios para sistemas de drenaje subterráneo y alcantarillado. Métodos de ensayo generales.
NTC 3722	Plásticos. Tubos ligeros y accesorios para sistemas de drenaje subterráneo y alcantarillado. Especificaciones para PVC-U.
NTC 3826	Plásticos. Tubos de fibra de vidrio (resina termo-estable reforzada con fibra de vidrio) para usos en sistemas a presión industriales y de alcantarillado.
NTC 3870	Plásticos. Tubos de fibra de vidrio para usos en alcantarillado.
NTC 3871	Plásticos. Tubos de fibra de vidrio (resina termoestable reforzada con fibra de vidrio) para uso en sistemas a presión.
NTC 3877	Plásticos. Especificaciones para juntas de fibra de vidrio (resina termo-estable con fibra de vidrio) usando sellos elastoméricos.
NTC 3919	Plásticos. Tubos de fibra de vidrio (resina termoestable reforzada con fibra de vidrio) de filamento enrollado.
NTC 4001	Tubería metálica. Tubería estructural de alta resistencia y baja aleación, formada en caliente con o sin costura.
NTC 4075	Unidades (ladrillos) de concreto para construcción de sumideros y cámaras de inspección de concreto reforzado.
NTC 4089	Ingeniería Civil y Arquitectura. Accesorios de gres para alcantarillado y perforados para drenaje. Resistencia normal.
G.3.1.3.2	Normas Técnicas ASTM
A 36	Specification for carbon structural steel.
A 53	Specification for pipe, steel, black and hot-dipped, zinc-coated welded and seamless.
A 74	Specification for cast iron soil pipe and fittings.
A 135	Specification for electric-resistance-welded steel pipe.

A 139	Specification for electric - fusion (ARC) - welded steel pipe (NPS 4 and over).
A 283	Specification for low and intermediate tensile strength carbon steel plates.
A 370	Standard test method and definitions for mechanical testing of steel products.
A 475	Specification for Zinc - Coated Steel Wire Strand.
A 570	Standard specification for steel, sheet, and strip, carbon, hot-rolled-structural quality.
A 572	Specification for high-strength low-alloy columbium-vanadium structural steel.
A 589	Specification for seamless and welded carbon steel water-well pipe.
A 716	Specification for ductile iron culvert pipe.
A 746	Specification for ductile iron gravity sewer pipe.
A 751	Standard test methods, practices, and terminology for chemical analysis of steel products.
A 760	Specification for corrugated steel pipe, metallic-coated for sewers and drains.
A 762	Specification for corrugated steel pipe, polymer precoated for sewers and drains.
A 865	Specification for threaded couplings, steel, black or zinc-coated (galvanized) welded or seamless, for use in steel pipe joints.
A 888	Standard specification for hubless cast iron soil pipe and fittings for sanitary and storm drain, waste, and vent piping applications.
A 961	Specification for common requirements for steel flanges, forged fittings, valves, and parts for piping applications.
C 14	Standard specification for concrete sewer, storm drain, and culvert pipe.
C 76	Standard specification for reinforcement concrete culvert, storm drain, and sewer pipe.
C 301	Standard test methods for vitrified clay pipe.
C 361	Standard specification for reinforced concrete low-head pressure pipe.
C 425	Specifications for compression joints for vitrified clay pipe and fittings.
C 428	Standard specification for asbestos-cement nonpressure sewer pipe.
C 443	Standard specification for joints for circular concrete sewer and culvert pipe, using rubber gaskets.
C 497	Standard test methods for concrete pipe, manhole sections, or tile.
C 500	Standard test method for asbestos-cement pipe.
C 505	Standard specification for nonreinforcement concrete irrigation pipe with rubber gasket joints.
C 506	Specification for reinforced concrete arch culvert, storm drain and sewer pipe.
C 507	Specification for reinforced concrete elliptical culvert, storm drain and sewer pipe.
C 582	Standard specification for contact-molded reinforced thermosetting plastic (rtp) laminates for corrosion resistant equipment.
C 644	Standard terminology relating to iron castings.
C 655	Specification for reinforced concrete D-load culvert, storm drain and sewer pipe.
C 700	Specification for vitrified clay pipe, extra strength, standard strength and perforated.
C 822	Standard terminology relating to concrete pipe and related products.
C 877	Specification for external sealing bands for noncircular concrete sewer, storm drain and culvert pipe.
C 887	Standard specification for external sealing bands for noncircular concrete sewer, storm drain and culvert pipe.
C 990	Standard specification for joints for concrete pipe, manholes and precast box section using preformed flexible joint sealants.
C 996	Standard guide for installing asbestos-cement nonpressure pipe.
D 402	Test method for distillation of cut-back asphaltic (bituminous) products.
D 1598	Test for time-to-failure of plastic pipe under constant internal pressure.
D 1599	Test for short-time hydraulic failure pressure of (thermoplastic/reinforced thermosetting resin) plastic pipe/tubing/fittings.
D 1784	Standard specification for rigid Poly (Vinyl Chloride) and Chlorinated Poly (Vinyl Chloride) compounds.
D 2122	Test for dimensions-thermoplastic pipe/fittings.
D 2152	Test for degree of fusion of extruded PVC pipe/molded fittings by acetone immersion.
D 2235	Specification for solvent cement for acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS) plastic pipe.

D 2239	Specification for polyethylene (PE) plastic pipe (SDR-PR) based on controlled inside diameter.
D 2241	Specification for Poly (Vinil Cholride) (PVC) pressure-rated pipe (SDR series).
D 2310	Specification foe machine-made classification, reinforced thermosetting-resin (RTR) pipe, classification.
D 2321	Specification for underground installation of thermoplastic pipe (for sewers/other gravity-flow applications).
D 2412	Test for external loading characteristics of plastic pipe, by parallel-plate loading.
D 2487	Test Method for Clasification of Soils for Engineering Purposes (United Soil Classification System)
D 2517	Standard specification for reinfirced epoxy resin gas pressure pipe and fittings.
D 2564	Specification for solvent cements for PVC piping systems.
D 2581	Specification for polybutylene (PB) plastic molding/extrusion materials.
D 2680	Specification for Acrynolitirle - Butadiene - Styrene (ABS) and poly (Vinyl Chloride) (PVC) Composite Sewer Pipe.
D 2729	Specification for sewer pipe and fittings, PVC (and 4 In. perforated pipe), for nonpressure drainage of sewage/surface water/ other liquids.
D 2751	Specification for sewer pipe fittings-ABS, by single/simultaneous multiple coextrusion.
D 2837	Test for obtaining hydrostatic design basis for thermoplastic pipe materials.
D 2996	Specification for filament-wound glass-fiber-reinforced thermosetting-resin (fiberglass) pipe.
D 2997	Specification for fiberglass pipe-centrifugally cast.
D 3033	Type PSP Poly (Vinyl Cjloride) (PVC) sewer pipe and fittings.
D 3034	Specification for sewer pipe/fittings - PVC, type PSM for sewer applications.
D 3035	Specification for polyethylene (PE) plastic pipe (SDR-PR) based on controlled outside diameter.
D 3212	Specification for joint for drain/sewer plastic pipes, using flexible elastomeric seals.
D 3261	Butt heat fusion polyethylene (PE) plastic fittings for polyethylene (PE) plastic fittings for polyethylene (PE) pipe and tubing.
D 3262	Specification for fiberglass sewer pipe, for conveying sanitary sewage/storm water/industrial wastes.
D 3517	Standard specification for fiberglass (Glass-Fiber-Reinforced-Termosetting-Resine) pressure pipe. Applicable for pipes 8 in. Through 144 in. (200 mm through 3600 mm), diameter, with or without siliceous sand, and polyester or epoxy resin.
D 3681	Test Method for Chemical Resistance of Fiberglass. Pipe in a Deflected Condition.
D 3754	Specification for Fiberglass (Glass-Fiber-Reinforced-Termosetting-Resine) sewer and industrial pressure pipe.
D 3839	Specification for underground installation of fiberglass (glass-fiber-reinforced thermosetting-resin) pipe.
D 4024	Standard specification for machine made Fiberglass (Glass-Fiber-Reinforced-Termosetting-Resine) flanges. Applicable from 0.5 in. Through 24 in. (13 mm through 600 mm) ANSI B 16.5 lb (70 kg) bolt circle flanges.
D 4161	Standard specification for fiberglass (Glass-Fiber-Reinforced-Termosetting-Resine) pipe joints using flexible elastomeric seals.
F 477	Standard specification for elastomeric seals (gaskets) for joining plastic pipe.
F 545	Standard specification for PVC and ABS injected solvent cemented plastic pipe joints.
F 679	Standard specification for polyninyl chloride (PVC) large-diameter plastic gravity sewer pipe and fittings.
F 682	Specification for wrought carbon steel -type pipe couplings.
F 714	Standard specification for polyethylene (PE) plastic pipe (SDR-PR) based on outside diamenter.
F 809	Standard specification for large diameter polybutilene plastic pipe.
F 894	Standard specification for polyethylene (PE) large diameter profile wall sewer and drain pipe.
F 949	Specification for Poly(Vinyl Chloride) Corrugatet Sewer Pipe With a Smooth Interior and Fittings.

F 1000	Practice for piping system drawing.
F 1248	Test method for determination of environmental stress crack resistance (ESCR) of polyethylene pipe.
F 1365	Test method for water infiltration resistance of plastic underground joints which use flexible elastomeric seals
G.3.1.3.3	Normas Técnicas AWWA
C 104	American National Standard for cement-mortar lining for ductile-iron pipe and fittings for water.(ANSI A 21.4)
C 105	American National Standard for polyethylene encasement for ductile-iron pipe systems. (ANSI A 21.5)
C 106	Cast iron pipe centrifugally cast in metal molds for water of other liquids.
C 110	American National Standard for ductile-iron and gray-iron fittings, 3 In Through 48 In. (75 mm Through 1200 mm), for water and other liquids. (ANSI A 21.10)
C 111	American National Standard for rubber-gasket joints for ductile-iron pressure pipe and fittings. (ANSI A 21.11)
C 115	American National Standard for flanged ductile-iron pipe with ductile-iron or gray-iron threaded flanges. (ANSI A 21.15)
C 150	American National Standard for the thickness design of ductile-iron pipe. (ANSI A 21.50)
C 151	American National Standard for ductile-iron pipe, centrifugally cast, for water or other liquids. (ANSI A 21.51)
C 200	Standard for steel water pipe 6 In (150 mm) and larger.
C 203	Standard for coal-tar protective coatings and linings for steel water pipelines-Enamel and tape-hot-applied.
C 205	Standard for cement-mortar protective lining and coating for steel water pipe - 4 In and Larger - shop applied.
C 206	Standard for field welding of steel water pipe.
C 207	Standard for steel pipe flanges for waterwork service-sizes 4 In through 144 In (100 mm through 3600 mm)
C 208	Standard for dimensions for fabricated steel water pipe fittings.
C 209	Standard for cold-applied tape coatings for the exterior of special.
C 210	Standard for liquid epoxy coating systems for the interior and exterior of steel water pipelines.
C 213	Standard for fusion-bonded epoxy coating for the interior and exterior of steel water pipelines.
C 214	Standard for tape coating systems for the exterior of steel water pipelines (includes addendum C214a-91).
C 219	Standard for bolted, sleeve type couplings for plain-end pipe.
C 300	Standard for reinforced concrete pressure pipe, steel-cylinder type, for water and other liquids (includes addendum C300a-93)
C 301	Standard for prestressed concrete pressure pipe, steel - cylinder tipe for water and other liquids.
C 302	Standard for reinforced concrete pressure pipe, noncylinder type.
C 303	Standard for concrete pressure pipe, bar-wrapped, steel-cylinder type.
C 304	Standard for design of prestressed concrete cylinder pipe.
C 400	Standard for asbestos-cement pressure pipe, 4 In through 16 In for water distribution systems.
C 401	Standard for the selection of asbestos-cement pressure pipe, 4 In through 16 In for water distribution systems.
C 402	Standard for asbestos-cement transmission pipe, 18 In. Through 42 In (450 mm Through 1050 mm), for potable water and other liquids.
C 403	Standard for the selection of asbestos-cement transmission and feeder main pipe, sizes 18 In. through 42 In. (450 mm through 1050 mm)

C 602	Standard for cement-mortar lining of water pipelines - 4 In (100 mm) and larger - In place.
C 606	Standard for grooved and shouldered joints.
C 900	Standard for polyvinyl chloride (PVC) pressure pipe 4 In through 12 In, for water distribution (includes addendum C900a-92).
C 902	Standard for polybutylene (PB) pressure pipe and tubing, ½ In. Through 3 In., for water.
C 905	Standard for polyvinyl chloride (PVC) water transmission pipe, nominal diameters 14 In. Through 36 In.
C 906	Standard for polyethylene (PE) pressure pipe and fittings, 4 In. through 63 In, for water distribution.
C 907	Standard for polyvinyl chloride (PVC) pressure fittings for water 4 In. through 8 In. (100 mm through 200 mm).
C 950	Standard for fiberglass pressure pipe.

G.3.1.3.4 NORMAS TÉCNICAS ISO (PARA REFERENCIA)

160	Asbestos-cement pressure pipes and joints.
265	Pipes and fittings of plastics materials -- Fittings for domestic and industrial waste pipes -- Basic dimensions : Metric series -- Part 1: Unplasticized poly(vinyl chloride) (PVC-U)
391	Building and sanitary pipes in asbestos-cement
392	Asbestos-cement pipe fittings for building and sanitary purposes
559	Steel tubes for water and sewage
727	Fittings of unplasticized polyvinyl chloride (PVC-U), chlorinated polyvinyl chloride (PVC-C) or acrylonitrile/butadiene/styrene (ABS) with plain sockets for pipes under pressure -- Dimensions of sockets -- Metric series
881	Asbestos-cement pipes, joints and fittings for sewerage and drainage.
1106-3	Recommended practice for radiographic examination of fusion welded joints -- Part 3: Fusion welded circumferential joints in steel pipes of up to 50 mm wall thickness
2230	Elastómeros vulcanizados -- Condiciones de almacenamiento.
2531	Tubos, racores y accesorios de fundición dúctil para canalizaciones a presión.
3304	Plain end seamless precision steel tubes -- Technical conditions for delivery
3305	Plain end welded precision steel tubes -- Technical conditions for delivery.
3306	Plain end as-welded and sized precision steel tubes -- Technical conditions for delivery.
3472	Unplasticized polyvinyl chloride (PVC) pipes -- Specification and determination of resistance to acetone.
3473	Unplasticized polyvinyl chloride (PVC) pipes -- Effect of sulphuric acid -- Requirement and test method.
3474	Unplasticized polyvinyl chloride (PVC) pipes -- Specification and measurement of opacity.
3501	Assembled joints between fittings and polyethylene (PE) pressure pipes -- Test of resistance to pull out.
3503	Assembled joints between fittings and polyethylene (PE) pressure pipes -- Test of leakproofness under internal pressure when subjected to bending.
3514	Chlorinated polyvinyl chloride (CPVC) pipes and fittings -- Specification and determination of density.
3603	Fittings for unplasticized polyvinyl chloride (PVC) pressure pipes with elastic sealing ring type joints -- Pressure test for leakproofness.
3604	Fittings for unplasticized polyvinyl chloride (PVC) pressure pipes with elastic sealing ring type joints -- Pressure test for leakproofness under conditions of external hydraulic pressure.
3633	Unplasticized poly(vinyl chloride) (PVC-U) pipes and fittings for soil and waste discharge (low and high temperature) systems inside buildings -- Specifications.
3663	Polyethylene (PE) pressure pipes and fittings, metric series -- Dimensions of flanges.

4059	Polyethylene (PE) pipes -- Pressure drop in mechanical pipe-jointing systems -- Method of test and requirements.
4065	Thermoplastics pipes -- Universal wall thickness table.
4132	Unplasticized polyvinyl chloride (PVC) and metal adaptor fittings for pipes under pressure -- Laying lengths and size of threads -- Metric series.
4179	Revestimiento de mortero de cemento de los tubos.
TR 4191	Unplasticized polyvinyl chloride (PVC-U) pipes for water supply -- Recommended practice for laying.
4200	Plain end steel tubes, welded and seamless -- General tables of dimensions and masses per unit length.
4427	Polyethylene (PE) pipes for water supply -- Specifications.
4433-1	Thermoplastics pipes -- Resistance to liquid chemicals -- Classification -- Part 1: Immersion test method.
4433-2	Thermoplastics pipes -- Resistance to liquid chemicals -- Classification -- Part 2: Polyolefin pipes.
4433-3	Thermoplastics pipes -- Resistance to liquid chemicals -- Classification -- Part 3: Unplasticized poly(vinyl chloride) (PVC-U), high-impact poly(vinyl chloride) (PVC-HI) and chlorinated poly(vinyl chloride) (PVC-C) pipes.
4433-4	Thermoplastics pipes -- Resistance to liquid chemicals -- Classification -- Part 4: Poly(vinylidene fluoride) (PVDF) pipes.
4440-1	Thermoplastics pipes and fittings -- Determination of melt mass-flow rate -- Part 1: Test method.
4440-2	Thermoplastics pipes and fittings -- Determination of melt mass-flow rate -- Part 2: Test conditions.
4451	Polyethylene (PE) pipes and fittings -- Determination of reference density of uncoloured and black polyethylenes.
4482	Asbestos-cement pipelines -- Guide for laying.
4488	Asbestos-cement pipes and joints for thrust-boring and pipe jacking.
4633	Juntas de estanqueidad de caucho -- Guarniciones de juntas de canalizaciones de alimentación y evacuación de aguas (alcantarillados incluidos -- Especificación de materiales.
5208	Ensayos de fábrica para válvulas de mariposa.
5210	Conexión a los mecanismos manuales y eléctricos para válvulas de mariposa.
5252	Steel tubes -- Tolerance systems.
5256	Steel pipes and fittings for buried or submerged pipe lines -- External and internal coating by bitumen or coal tar derived materials.
5752	Dimensiones entre caras de las válvulas bridadas.
5752-14	Dimensionamiento de válvulas de mariposa.
6259-1	Thermoplastics pipes -- Determination of tensile properties -- Part 1: General test method.
6259-2	Thermoplastics pipes -- Determination of tensile properties -- Part 2: Pipes made of unplasticized poly(vinyl chloride) (PVC-U), chlorinated poly(vinyl chloride) (PVC-C) and high-impact poly(vinyl chloride) (PVC-HI).
6259-3	Thermoplastics pipes -- Determination of tensile properties -- Part 3: Polyolefin pipes.
7005-2	Bridas de unión para válvulas.
TR 7074	Performance requirements for plastics pipes and fittings for use in underground drainage and sewage.
7245	Pipes and fittings of acrylonitrile/butadiene/styrene (ABS) -- General specification for moulding and extrusion materials.
7259	Válvulas con compuertas revestidas de Elastomero.
7279	Polypropylene (PP) fittings for pipes under pressure -- Sockets for fusion using heated tools -- Metric series -- Dimensions of sockets.
7370	Glass fibre reinforced thermosetting plastics (GRP) pipes and fittings -- Nominal diameters, specified diameters and standard lengths.

7671	Polypropylene (PP) pipes and fittings (jointed by means of elastomeric sealing rings) for soil and waste discharge (low and high temperature) systems inside buildings – Specifications.
7682	Acrylonitrile/butadiene/styrene (ABS) pipes and fittings for soil and waste discharge (low and high temperature) systems inside buildings – Specifications.
7686	Plastics pipes and fittings -- Opacity -- Test method.
8179	Revestimiento externo de zinc de los tubos.
8180	Manga de poietileno.
8572	Pipes and fittings made of glass-reinforced thermosetting plastics (GRP) -- Definitions of terms relating to pressure, including relationships between them, and terms for installation and jointing.
8772	High-density polyethylene (PE-HD) pipes and fittings for buried drainage and sewerage systems – Specifications.
8773	Polypropylene (PP) pipes and fittings for buried drainage and sewerage systems – Specifications.
9095	Steel tubes -- Continuous character marking and colour coding for material identification.
9302	Seamless and welded (except submerged arc-welded) steel tubes for pressure purposes -- Electromagnetic testing for verification of hydraulic leak-tightness.
9330-1	Welded steel tubes for pressure purposes -- Technical delivery conditions -- Part 1: Unalloyed steel tubes with specified room temperature properties.
DIS 9330-4	Welded steel tubes for pressure purposes -- Technical delivery conditions -- Part 4: Submerged arc-welded unalloyed and alloyed steel tubes with specified elevated temperature properties (Partial revision of ISO 2604-6:1978).
DIS 9330-5	Welded steel tubes for pressure purposes -- Technical delivery conditions -- Part 5: Submerged arc-welded unalloyed and alloyed steel tubes with specified low temperature properties (Partial revision of ISO 2604-6:1978).
9330-6	Welded steel tubes for pressure purposes -- Technical delivery conditions -- Part 6: Longitudinally welded austenitic stainless steel tubes.
9624	Thermoplastics pipes for fluids under pressure -- Mating dimensions of flange adapters and loose backing flanges.
12096	Submerged arc-welded steel tubes for pressure purposes -- Radiographic testing of the weld seam for the detection of imperfections
G.3.1.3.5	Normas Técnicas AASHTO
M 36	Zinc coated (galvanized) corrugated iron or steel culverts and underdrains.
M 245	Precoated, galvanized steel culverts and underdrains.
G.3.1.3.6	Normas Técnicas API
650	Welded steel tanks for oil storage.
G.3.1.3.7	Normas National Sanitation Foundation (NSF)
14	Ensayo toxicológico y organoléptico (sabor y olor)
G.3.1.3.8	Normas DIN
DIN 16961 PARTE 1	“ Thermoplastics pipes and Fittings With profiled outer and smooth inner surfaces dimensions”.
DIN 16961 PARTE 2	“ Thermoplastics pipes and Fittings With profiled outer and smooth inner surfaces . Technical delivery conditions”.
DIN 54852	“ Determination of flexural creep of plastics by tree point loading and four point loading”.

G.3.2 EFECTOS DE CARGAS EXTERNAS

G.3.2.1 CARGAS EXTERNAS Y PRESIONES INTERNAS

G.3.2.1.1 Generalidades

En el presente literal se tratan los siguientes aspectos : cargas de diseño que incluye cargas de trabajo y cargas transientes, presiones internas de diseño que comprende presiones internas, de trabajo y de ensayo de campo.

G.3.2.1.2 Cargas de diseño

Para seleccionar una tubería para trabajo en unas condiciones establecidas deben determinarse las magnitudes de las cargas de diseño y la distribución de las cargas externas sobre la tubería. Los tipos de cargas que normalmente se requieren para el diseño de tuberías a presión enterradas son las que se especifican a continuación.

1. Cargas de trabajo

Las tuberías deben diseñarse para incluir las siguientes cargas de trabajo de larga duración:

- Peso de la tubería, W_p , calculado utilizando las dimensiones nominales de la tubería y los siguientes pesos unitarios de materiales :

Concreto reforzado:	$\gamma_c = (2323 \text{ kg/m}^3) 22.8 \text{ kN/m}^3$
Concreto no reforzado (mortero):	$\gamma_m = (2343 \text{ kg/m}^3) 22.0 \text{ kN/m}^3$
Acero estructural:	$\gamma_s = (7833 \text{ kg/m}^3) 76.8 \text{ kN/m}^3$

Los pesos unitarios de materiales diferentes a los anotados deben ser los que especifique el fabricante de la tubería o los que se determinen mediante ensayos de laboratorio.

- Peso del fluido, W_f , calculado utilizando un peso unitario del agua (9.81 kN/m^3). Si se va a transportar un fluido diferente al agua por la tubería, debe utilizarse el peso unitario del fluido correspondiente.
- Carga muerta externa, W_e , calculada como la suma de las cargas producidas por el peso propio de la tierra y de cualquier sobrecarga presente. Las cargas por peso propio de la tierra se calculan según el literal G.3.2.2.
- Sobrecargas muertas resultantes de las cargas muertas de estructuras o de otras cargas superficiales que no son cargas transientes y se calculan por métodos elásticos normalmente aceptados.

2. Cargas transientes o vivas

Las cargas transientes, W_t , para las cuales debe diseñarse la tubería incluyen las siguientes cargas superficiales verticales de corta duración, siempre que éstas puedan estar presentes :

- Cargas vivas en vías calculadas de acuerdo con lo estipulado en *la Convención de Ginebra de 1949* y el *Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes del Ministerio de Transporte*.
- Cargas vivas de ferrocarriles que deben calcularse de acuerdo con el *AREA - Manual for Railway Engineering*.
- Cargas vivas de aviones que deben calcularse utilizando valores apropiados en ruedas de aviones según normas internacionales.
- Cargas vivas de construcción que deben calcularse de acuerdo con las características de la maquinaria y método constructivo teniendo en cuenta el recubrimiento de la tubería.

3. Factor de impacto

El cálculo de las cargas transientes o vivas, W_t , debe incluir la aplicación de factores de impacto apropiados, FI, de acuerdo con las normas de carga viva aplicables.

G.3.2.1.3 Presiones internas de diseño

Para seleccionar una tubería para trabajo en unas condiciones establecidas deben determinarse, además de las magnitudes de las cargas de diseño y la distribución de las cargas externas sobre la tubería tal como se presentó en el literal anterior, las presiones internas de diseño cuando estas se presenten durante la vida útil del sistema. Los tipos de presiones internas que normalmente se requieren para el diseño de tuberías a presión son las que se especifican a continuación. Si la norma de diseño no establece las presiones de diseño se debe considerar el mayor de los numerales 1, 2, y 3, indicados a continuación.

1. Presión interna de trabajo

La presión interna de trabajo, P_w , para la cual se debe diseñar la tubería es :

$$P_w = \max(P_g, P_s) \quad (\mathbf{G.3.1})$$

2. Presión interna transiente

La presión interna transiente, P_t , para la cual debe diseñarse la tubería es la presión interna, por encima de la presión interna de trabajo P_w causada por cambios rápidos en la velocidad de flujo dentro del sistema de tuberías. El diseño hidráulico de la tubería debe incluir un análisis de los efectos transientes. En ausencia de una presión transiente de diseño especificada, el valor de P_t para el cual debe diseñarse la tubería es :

$$P_t = \max(0.4P_w, 276\text{kPa}) \quad (\mathbf{G.3.2})$$

3. Presión interna de ensayo de campo

La presión interna por ensayos de campo, P_{ft} , es la presión de ensayo a aplicar a la tubería después de su instalación. En ausencia de un valor especificado, el valor de P_{ft} para el cual debe diseñarse la tubería es:

$$P_{ft} = 1.2P_w \quad (\mathbf{G.3.3})$$

G.3.2.2 CÁLCULO DE LOS EFECTOS DE LAS CARGAS EXTERNAS

G.3.2.2.1 Generalidades

En tuberías enterradas deben considerarse las cargas impuestas sobre la tubería debidas al peso propio del relleno simultáneamente con las cargas transitorias, vivas y de impacto que puedan llegar a presentarse.

El cálculo de cargas y deformaciones en tuberías debe realizarse de acuerdo con los literales que siguen, lo cual es válido para tuberías rígidas y flexibles instaladas en una variedad de condiciones incluyendo instalaciones enterradas en el terreno natural o instalaciones superficiales.

Para efectos del cálculo de la carga externa sobre la tubería deben diferenciarse los casos de tuberías rígidas y tuberías flexibles.

Para efectos del presente Título se define como tubería flexible aquella cuya sección transversal puede deflectarse al menos un 2% sin mostrar signos de sobreesfuerzo, agrietamiento o similares, de manera que ésta deriva parte de su capacidad de carga de la presión pasiva del suelo en los lados de la tubería.

G.3.2.2.2 Cargas de peso del suelo sobre tuberías flexibles

Para el cálculo de las cargas externas sobre tuberías flexibles debe clasificarse el caso de análisis en uno de los siguientes :

a) Tubo flexible enterrado en zanja angosta : $B_d < 2D_e$

$$W_d = C_d \gamma_r B_d^2 \left(\frac{D_e}{B_d} \right) \quad \text{(G.3.4)}$$

El coeficiente de carga C_d está basado en H/B_d , y en rellenos puede calcularse según lo establecido en G.3.2.2.6.

b) Tubo flexible enterrado en zanja ancha: $B_d > 2D_e$

$$W_d = C_c \gamma_r D_e^2 \quad \text{(G.3.5)}$$

C_c depende de las condiciones del terraplén y es función de las propiedades de los suelos. $C_c = H/D_e$ para tuberías flexibles al considerar únicamente deflexiones iniciales.

El coeficiente de carga para tuberías flexibles C_c puede calcularse según lo establecido en G.3.1.2.6.

G.3.2.2.3 Cálculo de deflexiones de la sección transversal en tuberías flexibles

1. Cálculo de la deflexión

La deflexión horizontal que ocurre en una sección transversal de una tubería flexible al estar sometida a una carga vertical por unidad de longitud puede estimarse mediante la siguiente ecuación :

$$\Delta_x = D_L \left(\frac{KW_r^3}{EI + 0.061E'r^3} \right) \times 10^{-6} \quad \text{(G.3.6)}$$

El factor K de soporte es según la Tabla G.3.2.

2. Factor de retardo de la deflexión, D_L

El factor de retardo de la deflexión está relacionado con la deflexión adicional que ocurre a medida que el suelo que circunda la tubería se compacta o consolida. El factor debe considerarse entre 1.0 y 2.5 a criterio del ingeniero en función del grado de compactación del suelo lateral en la tubería y de la consolidación lateral esperada. Para tuberías de concreto el valor debe ser de 1.0 o cercano a 1.0.

El factor de retardo en la deflexión puede ser de hasta 2.5 en el caso de suelos secos. El diseñador debe justificar la selección del valor de diseño.

3. Módulo de reacción de la subrasante, E'

El módulo de reacción de la subrasante, E' , es una medida de la rigidez del material donde se entierra la tubería. A falta de mejores datos, el módulo de reacción de la subrasante E' , puede estimarse de los valores que se presentan en la Tabla G.3.1., la cual da valores medios. Para calcular deflexiones máximas, se debe tomar el 75% de los valores de E' dados en la Tabla G.3.1

TABLA G.3.1
Módulo de reacción de la subrasante, E' (Mpa) ⁽⁵⁾

Tipo de Suelo (Sistema de Clasificación Unificada)	E' según el grado de compactación del material de soporte ⁽²⁾ en, (Mpa)			
	Suelto	Bajo < 85% Próctor < 40% densidad relativa	Moderado 85%-95%Próctor 40%-70% densidad relativa	Alto >95% Próctor >70% densidad relativa
- Suelos Finos (LL>50). ⁽¹⁾ Suelos con plasticidad media a alta CH, MH, CH-MH	Consultar ingeniero geotecnista o en su defecto utilizar $E' = 0$			
- Suelos Finos (LL<50). suelos sin plasticidad o con plasticidad media con menos del 25% de partículas gruesas. CL,ML,ML-CL	0.35	1.4	2.8	6.9
- Suelos Finos (LL<50). Suelos sin plasticidad o con plasticidad media con más del 25% de partículas gruesas. CL,ML,ML-CL - Suelos gruesos con finos GM, GC, SM, SC, ⁽³⁾ contenidos de finos de más del 12% .	0.7	2.8	6.9	13.8
- Suelos gruesos sin partículas finas o muy pocos finos. GW, GP, SW, SP ⁽³⁾ con menos del 12% de finos	1.4	6.9	13.8	20.7
Roca Triturada	7.0	20.7	20.7	20.7
Precisión en términos del porcentaje de la deflexión ⁽⁴⁾	±2	±2	±1	±0.5

Notas :

⁽¹⁾ LL= límite líquido

⁽²⁾ Según norma ASTM D 2487 o la norma NTC correspondiente.

⁽³⁾ O cualquier suelo en la línea límite que inicie con cualquiera de estos símbolos

⁽⁴⁾ Para una precisión del ±1% y una deflexión estimada del 3%, la deflexión real estaría entre 2% y 4%

⁽⁵⁾ Los valores son aplicables sólo para rellenos de menos de 15m. La tabla no incluye ningún factor de seguridad. Sólo para estimar deflexiones iniciales. Para deflexiones a largo plazo debe aplicarse el factor de retardo correspondiente. Cuando se esté en el límite entre dos categorías de compactación se debe tomar el menor valor de E' ó promediar los dos valores.

Alternativamente a los valores de módulo de reacción de la subrasante presentados en la Tabla G.3.1, puede utilizarse el módulo confinado M_s , que se define como la pendiente de una línea secante de la

curva esfuerzo deformación obtenida de un ensayo de compresión confinada en una muestra del suelo. También puede calcularse a partir del módulo de Young, E_s y de la relación de Poisson ν del suelo mediante la siguiente ecuación :

$$M_s = \frac{E_s(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)} \quad \text{(G.3.7)}$$

El módulo del suelo puede determinarse también a partir de ensayos comunes de consolidación, ensayos triaxiales en laboratorio o ensayos de placa en el campo sobre el suelo en el cual se va a enterrar la tubería. En cualquier caso la determinación del módulo de reacción de la subrasante, E' , debe quedar plenamente sustentada y justificada por el ingeniero geotecnista.

4. Los valores para el factor de soporte K son los que se establecen en la Tabla G.3.2

TABLA G.3.2
Valores para el factor de soporte K

ÁNGULO DEL PERÍMETRO INTERIOR SOPORTADO DE LA TUBERÍA EN °	K
0	0.110
30	0.108
45	0.105
60	0.102
90	0.096
120	0.090
180	0.083
Nota: 1° = 0.017 rad	

El diseñador debe especificar claramente las características del suelo que debe utilizarse en la cama de soporte, en la zona de atraque y en la zona de relleno inicial. Debe darse preferencia a la utilización de suelos granulares para proporcionar buenas características de resistencia al corte. Se debe especificar también el método de colocación y las especificaciones de compactación detalladas.

Para tuberías en condiciones de instalación en terraplen, el material que se coloca alrededor de la tubería es diferente del material del relleno, o si por razones constructivas se coloca un relleno alrededor de la tubería antes de construir el terraplén, el relleno compactado alrededor de la tubería debe cubrir el elemento por lo menos 300 mm por encima y debe extenderse lateralmente a cada lado de la tubería al menos un diámetro.

El diseñador debe consultar las especificaciones y la información de los fabricantes de los diferentes materiales y las especificaciones aplicables para la instalación y el soporte de los diferentes tipos de tuberías flexibles.

5. El diseñador debe justificar la suposición tradicional de que la deformación horizontal de la tubería es igual a la deformación vertical, especialmente para bajas relaciones entre la rigidez de la tubería y la rigidez del suelo.

Las tuberías flexibles no deben colocarse directamente sobre soportes punzantes o inclinados. Estos deben ser planos y debe colocarse un colchón de suelo entre el soporte y la tubería. Las tuberías flexibles no deben recubrirse de concreto a menos que el recubrimiento se diseñe para soportar la totalidad de la carga y se consulte al fabricante de la tubería para obtener su aprobación.

G.3.2.2.4 Cálculo de pandeo en tuberías flexibles

Una tubería enterrada en el suelo puede colapsar o presentar pandeo por inestabilidad elástica como resultado de las cargas que actúan sobre ella y de las deformaciones que sufre. Las presiones resultantes de la sumatoria de cargas externas debe ser menor o igual que la presión admisible de pandeo de acuerdo con la siguiente ecuación :

$$q_{ext} \leq q_a \quad (\text{G.3.8})$$

1. Presiones externas actuantes, q_{ext} .

Las presiones externas actuantes pueden determinarse mediante la peor condición resultante de las ecuaciones siguientes :

$$q_{ext} = \gamma_w h_w + \frac{R_w W_d}{D} + \frac{W_l}{D} \quad (\text{G.3.9})$$

$$q_{ext} = \gamma_w h_w + R_w \frac{W_d}{D} + P_v \quad (\text{G.3.10})$$

El factor de flotación del agua es igual a $R_w = 1 - 0.33 \frac{h_w}{H}$, $0 \leq h_w \leq H$

La presión interna de vacío P_v = presión atmosférica - presión absoluta dentro del tubo

Cuando se presenten cargas extremas como son las debidas a tránsito especial como equipos de construcción o similar, pueden utilizarse los métodos tradicionales de solución elástica para cargas concentradas o distribuidas e incluir el efecto de la carga en la fórmula de presiones externas actuantes.

2. Presión admisible en pandeo, q_a .

La presión admisible de pandeo puede determinarse mediante la siguiente fórmula :

$$q_a = \left(\frac{I}{FS} \right) \left(32 R_w B' E' \frac{EI}{D^3} \right)^{1/2} \quad (\text{G.3.11})$$

Se tiene para el factor de seguridad FS $= 2.5 \xrightarrow{\text{para}} (H/D) \geq 2$
 $= 3.0 \xrightarrow{\text{para}} (H/D) < 2$

Para el coeficiente empírico de soporte elástico (adimensional) B' se puede adoptar la siguiente ecuación:

$$B' = \frac{I}{1 + 4e^{(-0.065H)}} \quad (\text{G.3.12})$$

G.3.2.2.5 Cargas de peso del suelo en tuberías rígidas

Las cargas en tuberías rígidas causadas por el peso del suelo pueden calcularse considerando el peso del prisma del suelo directamente sobre la tubería, más o menos las fuerzas cortantes de fricción que se transfieren a este prisma por los suelos adyacentes. Para el cálculo se realizan las siguientes suposiciones :

- La carga calculada es la carga que se desarrollará una vez hallan ocurrido los asentamientos últimos.

- Se utiliza la teoría de Rankine para calcular las magnitudes de las presiones laterales que inducen fuerzas cortantes entre el suelo inmediatamente por encima de la tubería y el suelo adyacente.
- La cohesión es despreciable excepto en condiciones de túneles.

Si el diseñador así lo desea, puede utilizar una teoría más general que la anterior, siempre y cuando presente los fundamentos correspondientes para la aplicación de dicha metodología alterna y demuestre que los resultados corresponden a situaciones observadas en la realidad.

G.3.2.2.6 Condiciones de instalación en zanja para tuberías rígidas

La carga sobre tuberías rígidas en condiciones de instalación en zanja se puede calcular con la siguiente fórmula :

$$W_d = C_d \gamma_r B_d^2 \quad (\text{G.3.13})$$

El coeficiente adimensional de carga C_d es según la siguiente fórmula

$$C_d = \frac{1 - e^{-2k\mu' \frac{H}{B_d}}}{2k\mu'} \quad (\text{G.3.14})$$

en la cual la relación de Rankine de presión lateral a presión vertical k es según la siguiente ecuación:

$$k = \tan\left(45 - \frac{\phi'}{2}\right) \quad (\text{G.3.15})$$

μ' se puede calcular como $\tan \phi'$.

Ante la falta de mejores datos, deben utilizarse los siguientes valores de $k\mu'$ según el tipo de suelo:

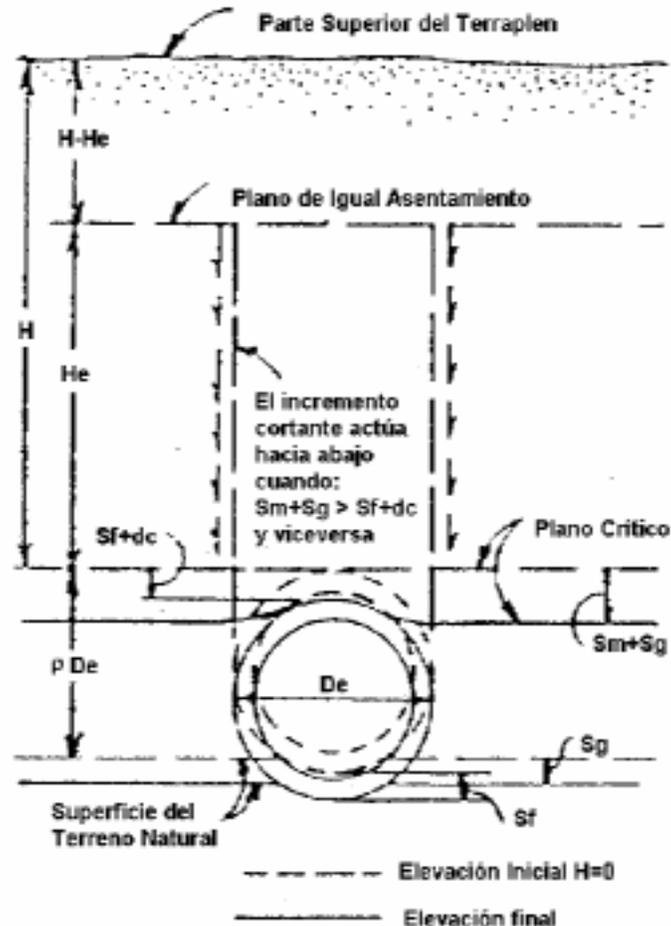
- $k\mu' = 0.1924$ materiales granulares sin cohesión
- $k\mu' = 0.1650$ máximo para arenas y gravas
- $k\mu' = 0.1500$ máximo para suelos superficiales saturados
- $k\mu' = 0.1300$ máximo para arcillas ordinarias
- $k\mu' = 0.1100$ máximo para arcillas saturadas

G.3.2.2.7 Condiciones de instalación en terraplenes con proyección positiva para tuberías rígidas

La carga producida por el peso propio del suelo de relleno en una tubería instalada en relleno con proyección positiva es igual al peso del prisma interior del suelo directamente por encima de la estructura, más o menos las fuerzas cortantes verticales que actúan en planos verticales que se extienden hacia arriba en el relleno desde los bordes de la tubería.

Las fuerzas cortantes que actúan en los planos verticales mencionados deben extenderse hasta el plano de iguales asentamientos. El plano de iguales asentamientos se determina igualando la deformación unitaria total en el suelo por encima de la tubería con aquella en el relleno lateral más el asentamiento del plano crítico que es aquel que pasa por la parte superior de la tubería en su posición original (véase la Figura G.3.1).

FIGURA G.3.1
Asentamientos que influyen la carga sobre tuberías rígidas en proyección positiva



Para la figura D_e es el diámetro original externo de la tubería y la relación de proyección ρ es la relación entre la distancia que proyecta la parte superior de la tubería por encima de la superficie natural del terreno, o la parte superior del terreno bien compactada o la parte inferior de una zanja ancha y el diámetro externo de la tubería.

El incremento de esfuerzos actúa hacia abajo cuando se cumple la siguiente relación (ver Figura G.3.1).

$$S_m + S_g \geq S_f + d_c \quad (\text{G.3.16})$$

La relación de proyección ρ para el cálculo de S_m es según la Figura G.3.1

Si la tubería está cimentada sobre el suelo deformable, ésta se asentará más que el suelo adyacente a medida que se construye el relleno. En este caso las fuerzas cortantes actuarán hacia arriba de manera que reducirán las cargas sobre la tubería a un valor inferior al peso del prisma interior. En este caso se define la instalación en condiciones de zanja.

Cuando el plano de iguales asentamientos es un plano imaginario por encima de la superficie del relleno (y por lo tanto las fuerzas cortantes solo llegan hasta la superficie del relleno) la instalación se llama condición de zanja completa o condición de proyección completa, dependiendo de la dirección de las fuerzas cortantes.

Cuando el plano de iguales asentamientos está localizado dentro del relleno, la instalación se llama condición de zanja incompleta o condición de proyección incompleta.

En el cálculo de los valores de asentamientos deben considerarse los efectos de los asentamientos diferenciales causados por cualquier capa compresible por debajo de la superficie natural del terreno.

Para el caso de tuberías en zanjas, debe considerarse la eventualidad que el suelo natural se asiente más que el relleno de la zanja, como pueden ser los casos de suelos orgánicos o turbas.

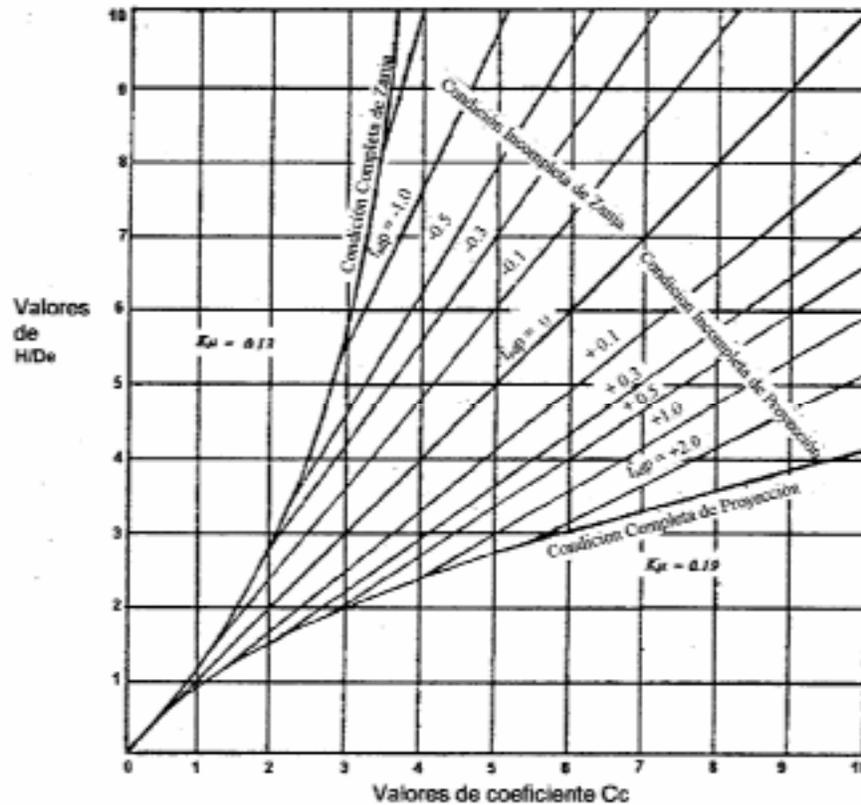
Para el caso de tuberías soportadas sobre pilotes en suelos orgánicos o de alta compresibilidad, la carga en la tubería podrá ser mayor que el peso del prisma por encima de esta y las fuerzas de arrastre hacia abajo deben considerarse en el diseño de los pilotes.

Para tuberías rígidas instaladas en rellenos con proyección positiva se puede utilizar la siguiente ecuación para calcular la carga sobre la tubería producida por el peso del relleno por encima de la misma :

$$W_c = C_c \gamma_r D_e^2 \quad \text{(G.3.17)}$$

El coeficiente de carga, C_c , puede calcularse de acuerdo con la Figura G.3.2

FIGURA G.3.2
Coefficiente de carga para tuberías rígidas en condiciones de instalacion en rellenos con proyección positiva



ρ es la relación de proyección definida para la Figura G.3.1.

La relación f_{sd} que indica la dirección y magnitud de los asentamientos relativos del prisma de suelo directamente por encima de la tubería y la del prisma del suelo adyacente a éste y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$f_{sd} = \frac{(S_m + S_g) - (S_f + d_c)}{S_m} \quad \text{(G.3.18)}$$

$S_m + S_g$ es el asentamiento del plano crítico.

$S_f + d_c$ es el asentamiento de la parte superior de la tubería.

La relación de asentamientos, f_{sd} puede trabajarse como un coeficiente empírico basado en los datos proporcionados en la Tabla G.3.3.

TABLA G.3.3
Valores recomendados para la relación de asentamientos f_{sd}

Condiciones de Instalación y de Fundación		Relación de Asentamientos	
		Rango usual	Valor de diseño
Proyección positiva		0.0 a +1.0	
	Roca o suelo duro	+1.0	+1.0
	Suelo corriente	0.5 a + 0.8	+0.7
	Suelo blando	0.0 a + 0.5	+0.3
Proyección Nula			+0.0
Proyección Negativa			
	$\rho' = 0.5$ ⁽²⁾		-0.1
	$\rho' = 1.0$		-0.3
	$\rho' = 1.5$		-0.5
	$\rho' = 2.0$		-1.0
Zanja Inducida		-2.0 a + 0.0	
	$\rho' = 0.5$		-0.5
	$\rho' = 1.0$		-0.7
	$\rho' = 1.5$		-1.0
	$\rho' = 2.0$		-2.0

Notas:

(1) El valor de la relación de asentamientos depende del grado de compactación del material de relleno adyacente a la tubería.

Para métodos constructivos que garanticen una buena compactación de la capa de soporte y el relleno lateral de la tubería, se recomienda usar un valor de f_{sd} de +0.5 para tubería rígida y +0.3 para tubería semi rígida.

(2) ρ' = relación de proyección negativa, definida como la profundidad de la parte superior de la tubería por debajo del plano crítico o terreno firme dividida por el ancho de la zanja, B_d .

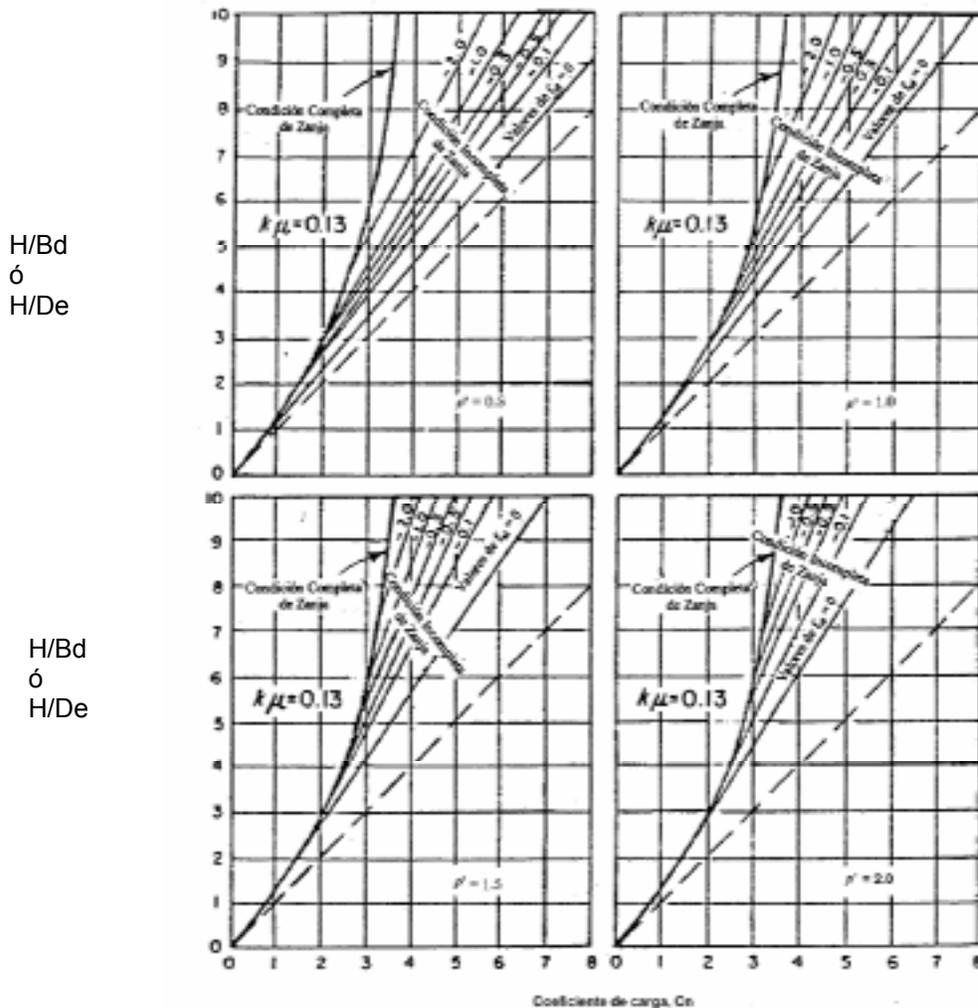
G.3.2.2.8 Condiciones de instalación en terraplenes con proyección negativa o zanja inducida para tuberías rígidas

La carga sobre la tubería en condiciones de instalación con proyección negativa o en rellenos con zanja inducida es igual al peso del prisma de suelo interior por encima de la tubería menos las fuerzas de fricción que actúan en los lados del prisma y se puede calcular con la siguiente ecuación :

$$W_n = C_n \gamma_r B_d^2 \quad (\text{G.3.19})$$

El coeficiente de carga para tuberías en proyección negativa C_n es según Figura G.3.3.

FIGURA G.3.3
Coeficientes de carga c_n para tuberías con proyección negativa y de zanja inducida



Con respecto a la figura G.3.3 ρ' es la relación negativa o sea la relación entre la distancia vertical desde el terreno firme hasta la parte superior de la tubería dividida por el ancho de la zanja, B_d , en el caso de tuberías con proyección negativa o por el ancho de de la tubería, D_e , en el caso de tuberías con rellenos con zanja inducida.

La relación f_{sd} que indica la dirección y magnitud de los asentamientos relativos del prisma de suelo directamente por encima de la tubería y la del prisma del suelo adyacente a éste y se calcula mediante la siguiente ecuación :

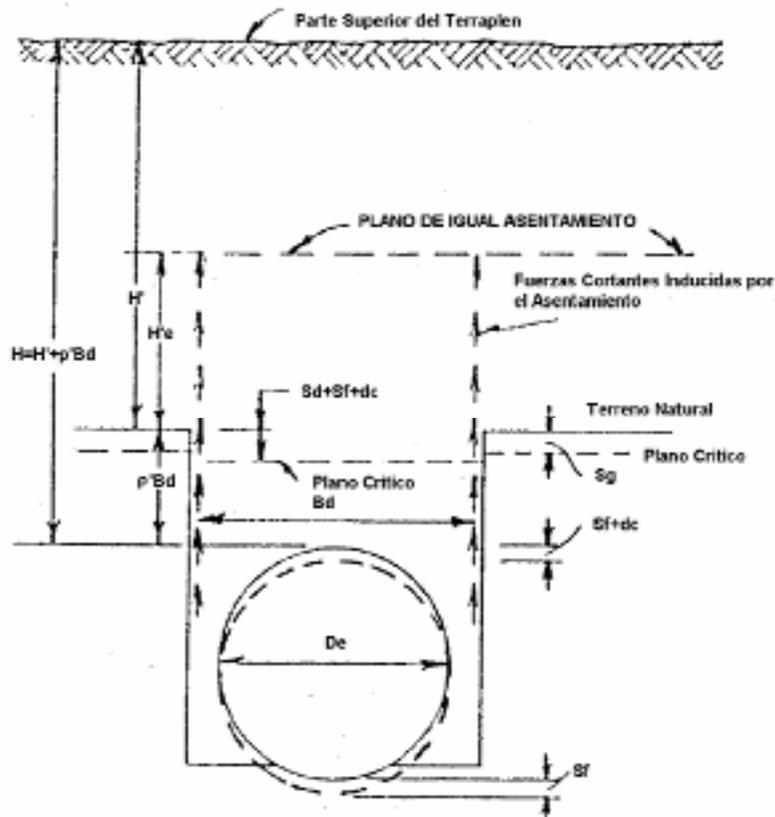
$$f_{sd} = \frac{S_g - (S_d + S_f + d_c)}{S_d} \quad \text{(G.3.20)}$$

S_d es el asentamiento del suelo desde la superficie original del terreno hasta la parte superior de la tubería o sea la columna de suelo $\rho'B_d$ ó $\rho'D_e$.

$S_d+S_f+d_c$ es el asentamiento del plano crítico.

La Figura G.3.4 presenta los elementos principales de la relación de asentamientos.

FIGURA G.3.4
Asentamientos que influyen la carga sobre tuberías en proyección negativa



A menos que se disponga de mejor información deben utilizarse los valores para f_{sd} dados en la Tabla G.3.3.

G.3.2.3 CONDICIONES DE INSTALACIÓN BAJO RELLENOS CON SUPERFICIES INCLINADAS

Cuando la tubería tiene altura de relleno diferentes en los dos lados debido a la pendiente en la superficie del relleno o cuando solo existe relleno en un lado de la tubería, deben realizarse consideraciones especiales de análisis ya que un análisis basado en la mayor altura del relleno puede no ser el caso más crítico. El diseñador debe evaluar las condiciones particulares más críticas en cada caso.

G.3.2.4 CARGAS EN TUBERÍAS GATEADAS Y EN CONDICIONES DE TÚNEL

Cuando la profundidad de la tubería es superior de 9 a 12 m o cuando se dificulta la construcción por zanjas debido a obstrucciones superficiales, se permite la utilización de métodos alternos de construcción como son el gateo o el túnel.

En condiciones de instalación de gateo o de túnel, el diseño debe tener en cuenta las características y propiedades estándares y especiales de los materiales donde se va a realizar la construcción.

El diseñador debe basarse en las teorías usualmente aceptadas para el diseño de túneles y referirse a la documentación y manuales existentes a nivel internacional. Las memorias de diseño deben explicar detalladamente la teoría y parámetros utilizados en el diseño y justificar su adopción.

Todos los parámetros de suelo requeridos para los diseños deben obtenerse de ensayos de laboratorio sobre muestras del suelo en el cual se van a realizar los trabajos.

G.3.2.5 MÉTODO ALTERNO DE ANÁLISIS Y TUBERÍAS SEMIRÍGIDAS

Para situaciones especiales, como por ejemplo tuberías de gran diámetro (mayor que 1,2 m) deben utilizarse en el análisis los principios de la interacción suelo estructura. Los análisis deben considerar tanto la geometría del sistema como las propiedades de los materiales de la tubería y de las masas de suelo circundantes.

Para tuberías semirígidas puede utilizarse el anteriormente estado de análisis de efectos de cargas externas. Alternativamente pueden utilizarse las condiciones equivalentes para tuberías rígidas y flexibles según aplique en cada caso particular

G.3.2.6 CARGAS SOBREIMPUESTAS EN TUBERÍAS RÍGIDAS Y FLEXIBLES

G.3.2.6.1 Generalidades

Se consideran en general dos tipos de cargas sobreimpuestas que son la carga concentrada y la uniformemente distribuida en superficie.

En el diseño, además de las cargas sobreimpuestas que tendrá la tubería durante la operación normal, deben considerarse las cargas constructivas resultantes de equipos pesados actuando sobre alturas de relleno reducidas, lo cual puede representar condiciones críticas para el diseño.

El diseñador podrá utilizar métodos alternos de cálculo más sofisticados siempre y cuando justifique claramente su selección, explique las hipótesis de trabajo y presente evaluación detallada de parámetros con base en estudios de laboratorio sobre muestras tomadas del sitio particular de instalación de la tubería.

Los efectos de las cargas sobreimpuestas en la superficie sobre tuberías enterradas pueden considerarse utilizando cualquier método de análisis elástico aceptado o en su defecto pueden utilizarse métodos más detallados de análisis que tengan en cuenta el tipo y distribución de las cargas, la configuración geométrica, las propiedades y el comportamiento del material de relleno y de los suelos, las propiedades y el comportamiento de la tubería.

G.3.2.6.2 Cargas sobreimpuestas concentradas en tuberías rígidas o flexibles

La carga por unidad de longitud producida por una carga concentrada en superficie sobre una tubería enterrada, puede calcularse mediante la siguiente fórmula:

$$W_{sc} = C_s \frac{P_{cs}FI}{L_e} \quad \text{(G.3.21)}$$

El factor de impacto FI explica más adelante. El coeficiente de carga C_s es según Tabla G.3.4. L_e es la longitud efectiva del tubo. Ante la falta de mejores datos puede tomarse un valor nominal de 1m para tuberías de diámetro mayor que 1m.

TABLA G.3.4
Coeficiente de Carga C_s

<u>Q</u> 2H	<u>M</u> ó <u>Le</u>													
	2H							2 H						
<u>De</u> 2H	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.5	2.0	5.0
0.1	0.019	0.037	0.053	0.067	0.079	0.089	0.097	0.103	0.108	0.112	0.117	0.121	0.124	0.128
0.2	0.037	0.072	0.103	0.131	0.155	0.174	0.189	0.202	0.211	0.219	0.229	0.238	0.244	0.248
0.3	0.053	0.103	0.149	0.190	0.224	0.252	0.274	0.292	0.306	0.318	0.333	0.345	0.355	0.260
0.4	0.067	0.131	0.190	0.241	0.284	0.320	0.349	0.373	0.391	0.405	0.425	0.440	0.454	0.460
0.5	0.079	0.155	0.224	0.284	0.336	0.379	0.414	0.441	0.463	0.481	0.505	0.525	0.540	0.548
0.6	0.089	0.174	0.252	0.320	0.379	0.428	0.467	0.499	0.524	0.544	0.572	0.596	0.613	0.624
0.7	0.097	0.189	0.274	0.349	0.414	0.467	0.511	0.546	0.584	0.597	0.628	0.650	0.674	0.688
0.8	0.103	0.202	0.292	0.373	0.441	0.499	0.546	0.584	0.615	0.639	0.674	0.703	0.725	0.740
0.9	0.108	0.211	0.306	0.391	0.463	0.524	0.574	0.615	0.647	0.673	0.711	0.742	0.766	0.784
1.0	0.112	0.219	0.318	0.405	0.481	0.544	0.597	0.639	0.673	0.701	0.740	0.774	0.800	0.816
1.2	0.117	0.229	0.333	0.425	0.505	0.572	0.628	0.674	0.711	0.740	0.783	0.820	0.849	0.868
1.5	0.121	0.238	0.345	0.440	0.525	0.596	0.650	0.703	0.742	0.774	0.820	0.861	0.894	0.916
2.0	0.124	0.244	0.355	0.454	0.540	0.613	0.674	0.725	0.766	0.800	0.849	0.894	0.930	0.956

El factor de impacto, FI, refleja la influencia de las cargas dinámicas causadas por el tráfico en la superficie del terreno. El diseñador debe justificar plenamente la selección del factor de impacto a utilizar en cada situación particular de carga. Alternativamente, para minimizar el factor de impacto, el diseñador puede aumentar la cobertura sobre la tubería bajo análisis.

G.3.2.6.3 Cargas sobreimpuestas distribuidas en tuberías rígidas o flexibles

Para el caso de carga uniformemente distribuida sobre un área de extensión considerable en relación con el diámetro de la tubería y la profundidad a la que se encuentra ésta, la carga sobre la tubería puede calcularse con la siguiente ecuación :

$$W = C_s I_p FID_n \quad (\text{G.3.22})$$

El coeficiente de carga C_s se obtiene de la Tabla G.3.4 como función de $Q/2H$ y $M/2H$

G.3.2.7 CAPA DE CIMENTACIÓN Y RELLENO LATERAL

G.3.2.7.1 Generales

En la construcción del sistema suelo-tubería deben considerarse específicamente cinco zonas principales que son : cimentación, cama de soporte, zona de atraque, relleno inicial y relleno final. El diseñador debe especificar la calidad de los materiales y las especificaciones de construcción correspondientes en cada una de las zonas mencionadas. Debe tener en cuenta entre otras, si la tubería es rígida o flexible, si se coloca en zanja o en relleno, las características del material de fabricación de la tubería y las recomendaciones dadas por los fabricantes respectivos.

El diseñador debe verificar la capacidad de carga de los suelos que soportan las cargas de la tubería. También debe dar las indicaciones del caso para garantizar la estabilidad de la parte inferior de la zanja o zona de apoyo de la tubería y debe investigar principalmente la eventual presencia de suelos compresibles, de alto contenido orgánico o turbas.

La capa de cimentación, o sea la capa de base en contacto con el suelo natural en el fondo de la excavación, y la cama de soporte, o sea la capa donde se apoya directamente la tubería, pueden no ser

requeridas en casos específicos, dependiendo de las condiciones del suelo natural. A juicio del ingeniero diseñador, el suelo natural puede servir de cimentación y soporte, preparándolo adecuadamente para recibir la tubería.

La zona de atraque o sea aquella ubicada entre la cama de soporte y la línea media de la tubería debe someterse a un proceso de colocación muy cuidadoso. Este material debe colocarse uniformemente garantizando el llenado de todos los vacíos por debajo del tubo. La compactación debe realizarse manualmente a menos que exista el espacio disponible para garantizar una adecuada compactación mecánica. El material debe consistir en agregados triturados o arenosos ó cualquier material bien gradado de tamaño intermedio. Cuando pueda presentarse nivel freático elevado, no deben utilizarse arenas o alternativamente deben tomarse las precauciones para evitar la migración de partículas a otros estratos.

El relleno inicial, o sea el material que cubre el resto de la tubería y que sube hasta aproximadamente 200 mm por encima de la parte superior de la tubería debe garantizar el anclaje adecuado de la tubería, la protección contra daños por colocación del relleno final y asegurar una distribución uniforme de cargas en la parte superior de la tubería.

Para el relleno inicial debe utilizarse un material que logre buena compactación sin la aplicación de mucha energía. Se prohíbe la utilización de material arcilloso que requiera compactación mecánica. No se permite la compactación mecánica de este material a menos que se demuestre explícitamente que esta no le produce daño a la tubería.

El material a utilizar en el relleno final debe ser un material de fácil compactación para evitar la ocurrencia de asentamientos futuros. Deben tomarse las precauciones en la fase de construcción para no arrojar el material del relleno final desde alturas muy grandes de manera que se garantice que este proceso no va a afectar la tubería ni el material del relleno inicial.

La capacidad de carga de la tuberías de cualquier material está influenciada por el sistema tubería-suelo aunque la importancia relativa de las diferentes áreas varían dependiendo del tipo de material de la tubería. El diseñador debe consultar toda la información disponible y las especificaciones aplicables para ser utilizadas en el diseño para cada tipo de tubería y de material utilizado en la construcción.

G.3.2.7.2 Aspectos constructivos para condiciones de instalación en zanja

Especial cuidado debe darse a la colocación del material de relleno lateral para tuberías flexibles instaladas en zanjas ya que este cumple dos funciones principales que son la de soportar parte de la carga vertical total que actúa en el plano horizontal en la parte superior de la tubería y además soportar lateralmente la tubería lo cual aumenta la capacidad de carga vertical de la misma.

El ancho mínimo de la excavación debe ser aquel que exijan las condiciones de trabajo en los lados de la tubería para instalar adecuadamente las uniones, para colocar y retirar formaletería y para compactar el relleno. El ingeniero diseñador debe considerar una tolerancia en el ancho de la excavación para efectos de las variaciones en las condiciones del sitio y variaciones normales en la práctica constructiva. El ancho máximo de la excavación no debe exceder aquel que garantice una resistencia adecuada de la tubería.

La carga sobre tuberías instaladas en zanjas anchas no necesita considerarse superior a aquella que resulta de la consideración de instalación de tuberías en rellenos (ver G.3.2.2.8. y G.3.2.2.9.).

Cuando se desee excavar la zanja con lados inclinados y las condiciones locales del sitio así lo permitan, pueden utilizarse subzanjas para minimizar las cargas sobre la tubería, considerando que el ancho de la parte superior de la subzanja donde se coloca la tubería es el que se utiliza en el cálculo de la carga.

Cuando se requiere tablestacar las paredes de la subzanja, el tablestacado debe extenderse por lo menos 450 mm por encima de la parte superior de la tubería.

Cuando se requiere tablestacar las paredes de la zanja, el tablestacado debe llevarse por lo menos hasta la parte inferior del material de cimentación de la tubería, cuando este se utiliza. Cuando no se desee retirar del sitio el tablestacado, esta debe retirarse tanto como se pueda del mismo desde la superficie final del terreno, nunca menos de 0.9 m por debajo del nivel definitivo del terreno.

Cuando se utilice madera para el tablestacado, esta debe retirarse a partir 450 mm por encima de la parte superior de la tubería.

Cuando se desee retirar totalmente el tablestacado de acero o madera, este debe retirarse paulatinamente a medida que avanza el relleno de la excavación y el suelo debe compactarse para evitar la formación de vacíos en el suelo.

Cuando se utilice tablaestacado para las excavaciones, el ancho a utilizar en los cálculos de cargas sobre las tuberías debe ser el correspondiente al ancho total externo del tablestacado cuando este se retira y al ancho interno cuando este se deja en el sitio.

Cuando se creen vacíos en el suelo adyacente durante los trabajos de remoción de formalettería y relleno de las zanjas, estos deben rellenarse con material fluido.

Si por cualquier razón la zanja resulta más ancha de la originalmente establecida y utilizada en el diseño de la tubería, debe verificarse la carga de diseño sobre la tubería y de ser necesario debe utilizarse una tubería más resistente o debe mejorarse el tipo de material de cimentación.

G.3.2.8 EXPANSIÓN Y CONTRACCIÓN TÉRMICA

G.3.2.8.1 General

Para la evaluación del cambio de longitud máxima que puede llegar a sufrir una tubería dada debe utilizarse el máximo cambio de temperatura esperado, la longitud de la tubería y el coeficiente de expansión térmica lineal del material de la tubería. Para el diseño deben considerarse dos situaciones diferentes que son el caso de tuberías enterradas y el caso de tuberías en superficie.

1. Tuberías enterradas

En condiciones de operación normal, los cambios de temperatura esperados para tuberías enterradas son en general menores. Sin embargo deben considerarse en el diseño los cambios de temperatura máximos que pueden alcanzarse durante la fase de construcción. Deben tomarse todas las precauciones necesarias para que las fuerzas que se generan debido a las expansiones y contracciones no alcancen las válvulas, las bombas y otros dispositivos que puedan verse afectados. Los dispositivos que puedan verse afectados deben protegerse colocando juntas de expansión o colocando anclajes y bloques de reacción del tamaño y peso suficiente para evitar que las fuerzas alcancen estos dispositivos. La norma AWWA C206 incluye algunos métodos aceptados para reducir los esfuerzos que resultan de variaciones térmicas.

2. Tuberías en superficie

Deben disponerse juntas de expansión y contracción en las secciones de tuberías empotradas o ancladas y donde se utilicen uniones rígidas. La junta dispuesta debe permitir el movimiento requerido de manera que la expansión o contracción no se acumule en varios tramos. En tramos nivelados las juntas de expansión y contracción puede colocarse en la mitad de tramos anclados en los extremos. En pendientes, la junta debe colocarse cerca al punto de anclaje inferior. En este caso debe investigarse la capacidad de la tubería para resistir la tracción hacia abajo en los tramos críticos, para lo cual se requiere determinar el coeficiente de fricción por deslizamiento de la tubería apoyada en los soportes. El espaciamiento y la ubicación de las juntas de expansión y contracción deben quedar reguladas por los requerimientos del sitio y del perfil. En puentes, las juntas deben colocarse de manera que coincidan con las juntas correspondientes del la estructura principal del puente.

G.3.2.8.2 Coeficientes de expansión térmica

Los coeficientes de expansión térmica para los diferentes materiales de tuberías se especifican en la Tabla G.3.5.

TABLA G.3.5
Coeficientes de expansión térmica, C_T

MATERIAL DE LA TUBERÍA	COEFICIENTE C_T (mm/mm/ °C)
PVC	5.4×10^{-5}
ASBESTO CEMENTO	8.1×10^{-6}
ALUMINIO	2.3×10^{-5}
HIERRO FUNDIDO	10.4×10^{-6}
HIERRO DÚCTIL	10.4×10^{-6}
ACERO	11.7×10^{-6}
ARCILLA	6.1×10^{-6}
CONCRETO	9.9×10^{-6}
COBRE	17.6×10^{-6}
ABS	9.9×10^{-5}
PE	14.4×10^{-5}

G.3.2.8.3 Uniones de tuberías

En sistemas de tuberías cuya instalación incluya uniones del tipo de empaques de caucho (con espigos insertados en las campanas hasta la marca de inserción establecida por el fabricante), las expansiones y contracciones por efectos térmicos en condiciones normales de operación no es un factor significativo en el diseño y pueden despreciarse.

Cuando se utilicen uniones soldadas o uniones soldadas con solvente, el ingeniero diseñador debe tomar las precauciones necesarias para garantizar que los esfuerzos producidos por cambios máximos esperados de temperatura según las condiciones de colocación y operación no superen los esfuerzos admisibles de la tubería o de la soldadura.

G.3.2.8.4 Esfuerzos por cambios de temperatura

Los esfuerzos resultantes de cambios drásticos de temperatura pueden calcularse mediante la siguiente ecuación :

$$S_{Temp} = EC_T (t_{max} - t_{min}) \quad (\text{G.3.23})$$

G.3.2.9 CARGAS Y DISEÑO SÍSMICO

Todos los sistemas de tuberías para acueductos y alcantarillados que se encuentren ubicadas en zonas de amenaza sísmica intermedia y alta según *las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente, NSR - 98*, deben diseñarse para resistir los sismos de diseño establecidos en las zonas respectivas. En el diseño sísmico deben utilizarse todas las disposiciones aplicables establecidas en las *Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente, NSR - 98*, Ley 400 de 1997 y Decreto 33 de 1998 o los decretos que lo reemplacen o complementen.

G.3.3 DISEÑO DE TUBERÍAS PARA SISTEMAS DE ACUEDUCTO

G.3.3.1 GENERALIDADES Y ALCANCE

Este literal define los métodos que pueden utilizarse para el diseño estructural de los diferentes materiales aceptados por este Reglamento, enterradas o no y sometidas a presiones internas en sistemas de acueductos. Los métodos están enfocados al diseño de tuberías sometidas a los efectos de cargas de trabajo, transientes y las correspondientes a las pruebas y a las diferentes combinaciones de presiones internas y externas. Tuberías de otros materiales se consideran solo en forma general, asociando los métodos de análisis bien sea para tuberías rígidas o flexibles, pero dejando la responsabilidad en el diseñador y en el fabricante, en especial lo referente a la definición de las propiedades y de los de materiales y la caracterización del comportamiento ante diferentes estados de esfuerzos, deformaciones y en el tiempo.

La Tabla G.3.6 resume las normas técnicas que deben cumplir cada uno de los materiales de tuberías aceptados por este Título. La calidad debe ajustarse a los requisitos mínimos previstos en las Normas Técnicas Colombianas Oficiales Obligatorias. En su defecto deben cumplirse los requisitos establecidos en alguna de las normas técnicas internacionales citadas. Aquellas tuberías fabricadas en el país o importadas que no estén cobijadas por una NTCOO, deberán garantizar su calidad mediante el Certificado de Conformidad, de acuerdo al Decreto 300 del 10 de febrero de 1995 expedido por el Ministerio de Desarrollo Económico

La utilización de materiales diferentes a los establecidos debe someterse a la aprobación del Comité Asesor del Reglamento.

TABLA G.3.6

Normas que deben utilizarse en la fabricación de los diferentes tipos de tuberías para acueductos

Material de la Tubería	Norma Técnica Colombiana	Otras Normas (Selección a criterio del fabricante)
ACERO	NTC 10 NTCOO 11 NTC 2587 NTC 3470 NTC 4001	AWWA C 200 AWWA C 208 ASTM A 589
ASBESTO CEMENTO	NTCOO 44 NTC 487	AWWA C 400 AWWA C 401 AWWA C 402 AWWA C 403 ISO R 160
CONCRETO REFORZADO CON O SIN CILINDRO DE HACERO - CCP	NTC 747	AWWA C 300 AWWA C 301 AWWA C 302 AWWA C 303 AWWA C 304 ASTM C 822
FIBRA DE VIDRIO - GRP	NTC 3871 NTC 3919	ASTM D 2310 ASTM D 2992 ASTM D 2996 ASTM D 2997 ASTM D 3517 AWWA C 950
HIERRO DÚCTIL - HD	NTC 2587 NTC 2629	AWWA C 153 ISO 2531 ISO 4179 ISO 8179
POLIETILENO - PE	NTC 872 NTCOO 1602† NTCOO 1747 NTC 2935 NTC 3664 NTC 3694	AWWA C 901-96 AWWA C 906-90 ASTM D 2239 ASTM D 2737 ASTM D 3035 ASTM D 3350
POLICLORURO DE VINILO - PVC	NTCOO 382 NTC 369 NTCOO 539 NTCOO 1339 NTCOO 2295	ASTM D 1784 ASTM D 2241 ASTM D 2855 AWWA C 900 AWWA C 905 AWWA C 907 DIN 16961

† Sólo para tuberías de polietileno clase 40

NOTA : Las normas técnicas colombianas NTC deben tener prioridad.

G.3.3.2 APLICACIÓN

Las tuberías que cubre el presente capítulo se utilizan principalmente en la transmisión y distribución de agua en sistemas de acueductos municipales. La aplicación de los requisitos que se establecen en este documento a otro tipo de aplicaciones como pueden ser instalaciones industriales, sistemas de irrigación, túneles a presión, "box-culverts" y otros debe ser estudiado por el diseñador encargado. Los requisitos específicos para tuberías de alcantarillados se establecen en G.3.4.

G.3.3.3 CARGAS EXTERNAS Y PRESIONES INTERNAS**G.3.3.3.1 Combinaciones de cargas y de presiones internas****1. Combinación mínima de cargas y presiones de diseño**

La combinación mínima de cargas externas y presiones internas para el diseño de tuberías para acueductos debe ser de $P_w = 276$ kPa en combinación con un W_e equivalente a 1.80 m de recubrimiento de tierra basado en la carga en instalación de zanja para el ancho de transición y en un peso unitario del material de relleno de 18.9 kN/m³ (1922 kgf/m³). Para esta consideración debe tomarse $P_t = 0$ y $W_t = 0$.

2. Combinación de carga para tuberías flexibles de Acero, PVC, Fibra de Vidrio, Polietileno, Hierro Dúctil.

Las tuberías de acero y las de PVC deben diseñarse para la combinación de carga que resulte más crítica en cada caso particular de análisis utilizando el método de diseño por esfuerzos admisibles y cargas de servicio según las combinaciones y factores dados en la Tabla G.3.7. Alternativamente, las tuberías de acero pueden diseñarse utilizando el método de diseño por resistencia, en cuyo caso el diseñador debe seleccionar los factores de carga correspondientes a las diferentes hipótesis de carga siguiendo como guía los datos para tuberías cilíndricas de concreto y justificando claramente los valores utilizados en el diseño. Para tuberías de acero se establece en esos casos factores de seguridad globales mínimos de 2.0.

TABLA G.3.7

Factores de carga y de presión para tuberías flexibles de Acero, PVC, Fibra de Vidrio, Polietileno, Hierro Dúctil.

Condición de carga	W_e	W_p	W_f	W_t	P_w	P_t	P_{ft}
Combinaciones de cargas y presiones de trabajo							
W1	1.0	1.0	1.0		1.0		
W2	1.0	1.0	1.0				
Combinaciones de cargas de trabajo y cargas y presiones transientes							
WT1	1.0	1.0	1.0		1.0	1.0	
WT2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		
WT3	1.0	1.0	1.0	1.0			
Condición de prueba de campo							
FT1	1.21	1.21	1.21				1.21

3. Combinaciones para tuberías de concreto reforzado con cilindro de acero

Las tuberías de concreto reforzado con cilindro de acero deben diseñarse para la combinación de carga que resulte más crítica en cada caso particular de análisis utilizando bien sea el método de diseño por resistencia o el método de diseño por esfuerzos admisibles y cargas de servicio. Las combinaciones de carga y factores que deben utilizarse en este caso son los que se presentan en la Tabla G.3.8.

TABLA G.3.8

Factores de carga y de presión para tuberías de concreto reforzado con cilindro de acero

Condición de carga	W_e	W_p	W_f	W_t	P_w	P_t	P_{ft}
Combinaciones de cargas y presiones de trabajo							
W1	1.0	1.0	1.0		1.0		
W2	1.0	1.0	1.0				
FW1	1.25	1.0	1.0				
Combinaciones de cargas de trabajo y cargas y presiones transientes							
WT1	1.0	1.0	1.0		1.0	1.0	
WT2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		
WT3	1.0	1.0	1.0	1.0			
FWT1	1.35	1.35	1.35		1.35	1.35	
FWT2	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8		
FWT3	1.8	1.8	1.8	1.8			
FWT4					1.6	2.0	
Condición de prueba de campo							
WT1	1.1	1.1	1.1				1.1
FT1	1.21	1.21	1.21				1.21

4. Tuberías de concreto preesforzado con cilindro de acero

Las tuberías de concreto preesforzado con cilindro de acero deben diseñarse para la combinación de carga que resulte más crítica en cada caso particular de análisis utilizando bien sea el método de diseño por resistencia o el método de diseño por esfuerzos admisibles y cargas de servicio. Los factores de carga cambian dependiendo de si se tratan de tuberías con cilindro embebido o tuberías con cilindro revestido. La Figura G.3.7 del literal G.3.2.6 presenta las definiciones de los factores de carga para las dos alternativas de diseño. Las combinaciones de cargas y los factores correspondientes son los que están dados en las Tablas G.3.9 y G.3.10.

TABLA G.3.9

Factores de carga y de presión para tuberías de concreto preeforzado con cilindro embebido

Condición de Carga	W _e	W _p	W _f	W _t	P _w	P _t	P _{ft}
	Combinaciones de cargas y presiones de trabajo						
W1	1.0	1.0	1.0		1.0		
W2	1.0	1.0	1.0				
FW1	1.25	1.0	1.0				
	Combinaciones de cargas de trabajo y cargas y presiones transientes						
WT1	1.0	1.0	1.0		1.0	1.0	
WT2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		
WT3	1.0	1.0	1.0	1.0			
FWT1	1.1	1.1	1.1		1.1	1.1	
FWT2	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1		
FWT3	1.3	1.3	1.3		1.3	1.3	
FWT4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3		
FWT5	1.6	1.6	1.6	2.0			
FWT6					1.6	2.0	
	Condición de prueba de campo						
FT1	1.1	1.1	1.1				1.1
FT2	1.21	1.21	1.21				1.21

TABLA G.3.10

Factores de carga y de presión para tuberías de concreto preeforzado con cilindro revestido

Condición de carga	W _e	W _p	W _f	W _t	P _w	P _t	P _{ft}
	Combinaciones de cargas y presiones de trabajo						
W1	1.0	1.0	1.0		1.0		
W2	1.0	1.0	1.0				
	Combinaciones de cargas de trabajo y cargas y presiones transientes						
WT1	1.0	1.0	1.0		1.0	1.0	
WT2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		
WT3	1.0	1.0	1.0	1.0			
FWT1	1.2	1.2	1.2		1.2	1.2	
FWT2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2		
FWT3	1.4	1.4	1.4		1.4	1.4	
FWT4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4		
FWT5	1.6	1.6	1.6	2.0			
FWT6					1.6	2.0	
	Condición de prueba de campo						
FT1	1.1	1.1	1.1				1.1
FT2	1.32	1.32	1.32				1.32

5. Tuberías de concreto reforzado sin cilindro

Las tuberías de concreto reforzado sin cilindro deben diseñarse para la combinación de carga que resulte más crítica en cada caso particular de análisis utilizando bien sea el método de diseño por resistencia o el método de diseño por esfuerzos admisibles y cargas de servicio. Las combinaciones de carga y los factores a utilizar en el diseño son los que se indican en la Tabla G.3.11.

TABLA G.3.11

Factores de carga y de presión para tuberías de concreto reforzado sin cilindro

Condición de carga	W_e	W_p	W_f	W_t	P_w	P_t	P_{ft}
Combinaciones de cargas y presiones de trabajo							
W1	1.0	1.0	1.0		1.0		
W2	1.0	1.0	1.0				
FW1	1.25	1.0	1.0				
Combinaciones de cargas de trabajo y cargas y presiones transientes							
WT1	1.0	1.0	1.0		1.0	1.0	
WT2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		
WT3	1.0	1.0	1.0	1.0			
FWT1	1.8	1.8	1.8		1.8	1.8	
FWT2	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8		
FWT3	1.8	1.8	1.8	1.8			
FWT4					1.6	2.0	
Condición de prueba de campo							
FT1	1.1	1.1	1.1				1.1
FT2	1.21	1.21	1.21				1.21

G.3.3.3.2 Efectos causados por las cargas

Las cargas de trabajo y las cargas transientes que actúan sobre la tubería deben determinarse de acuerdo con las disposiciones dadas en el literal G.3.2. La distribución de presiones de tierra sobre la tubería al igual que la distribución de los efectos de las cargas sobre las paredes de la tubería, tales como esfuerzos axiales y flectores que resultan de las cargas de trabajo y las transientes, deben determinarse a partir de teorías y métodos reconocidos y aceptados, tomando en cuenta las características de la instalación, tales como el tipo de cama de soporte y el método constructivo de los materiales de relleno lateral de la tubería.

En todos los sistemas de tuberías a presión deben calcularse las presiones transientes que se generan como consecuencia de un cambio en las condiciones de flujo, específicamente durante el cerrado de las válvulas del sistema. En este cálculo de sobrepresiones deben incluirse al menos las siguientes variables: velocidad de la onda de presión, velocidad de cerrado de la válvula, perfil del ducto, fricción y en general las características hidráulicas y físicas del sistema.

G.3.3.3.3 Efectos sísmicos y de cambios de temperatura

El diseñador debe considerar en forma independiente los efectos de las cargas sísmicas y los correspondientes a cambios de temperatura en combinación con las cargas y presiones de trabajo. Para efecto de las cargas sísmicas deben utilizarse los requisitos aplicables de *las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente*, NSR - 98, Ley 400 de 1997 y decreto 33 de 1998 o los decretos que lo replacen, teniendo en cuenta que las fuerzas sísmicas allí consideradas corresponden a cargas mayoradas. Para obtener cargas de trabajo equivalentes pueden dividirse dichos valores por 1.4.

G.3.4 DISEÑO DE TUBERÍAS PARA SISTEMAS DE ALCANTARILLADO**G.3.4.1 GENERALIDADES**

Las tuberías para la construcción de sistemas de alcantarillado pueden fabricarse de diferentes materiales de acuerdo con las especificaciones de productos reconocidos nacional e internacionalmente.

La utilización de nuevos materiales y sistemas para la construcción de alcantarillados debe someterse a la aprobación del Comité Asesor del Reglamento.

Los factores que deben considerarse en la evaluación y selección de los materiales a utilizar en la construcción de alcantarillados son el tipo de uso y calidad del agua, las condiciones de escorrentía y abrasión, los requerimientos de instalación, las condiciones de corrosión, los requerimientos de flujo, los requerimientos de infiltración y exfiltración, las características del producto, la efectividad de costos, las propiedades físicas, la disponibilidad del producto en el sitio y los requerimientos de manejo.

Los materiales normalmente aceptados por este Título para sistemas de alcantarillados son los que se presentan en la Tabla G.3.12.

TABLA G.3.12
Tipos de tuberías y materiales aceptados para alcantarillados

Tipo de Tubería	Materiales aceptados
Tubería rígida	Tubería de concreto reforzado Tubería de concreto simple Tubería de asbesto cemento Tubería de arcilla vitrificada (gres) Tubería de hierro fundido
Tubería Flexible	Tubería de hierro dúctil Tubería de acero Tubería termoplástica Polietileno (PE) Polietileno de alta densidad Policloruro de Vinilo (PVC) ABS simple y compuesto Acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS) Tubería plástica termo-estable Fibra de vidrio (resina termo-estable Reforzada) RTR Mortero plástico reforzado RPM

G.3.4.2 MATERIALES PARA TUBERÍAS EN SISTEMAS DE ALCANTARILLADOS

Los materiales y las normas correspondientes aceptados por el presente Título son los que se presentan en la Tabla G.3.13 para tuberías rígidas y en la Tabla G.3.14 para tuberías flexibles. La calidad debe ajustarse a los requisitos mínimos previstos en las Normas Técnicas Colombianas Oficiales Obligatorias. En su defecto deben cumplirse los requisitos establecidos en alguna de las normas técnicas internacionales citadas.

Aquellas tuberías fabricadas en el país o importadas que no estén cobijadas por una NTCOO, deberán garantizar su calidad mediante el Certificado de Conformidad, de acuerdo al Decreto 300 del 10 de febrero de 1995 expedido por el Ministerio de Desarrollo Económico

TABLA G.3.13

Normas que deben utilizarse en la fabricación de los diferentes tipos de tuberías rígidas para alcantarillados

Material de la Tubería	Norma Técnica Colombiana	Normas Técnicas Internacionales (selección a criterio del fabricante)
CONCRETO REFORZADO	NTC 00401 NTC 1328	ANSI/ASTM C 76 ANSI/ASTM C 506 ANSI/ASTM C 655 ANSI/ASTM C 507 ANSI/ASTM C 361 ANSI/ASTM C 443 ANSI/ASTM C 877
CONCRETO SIMPLE	NTCOO 1022 NTC 1328	ANSI/ASTM C 14
ASBESTO CEMENTO	NTCOO 44 NTC 268 NTCOO 384	ASTM C 428
ARCILLA VITRIFICADA (GRES)	NTC 357 NTC 3526 NTC 4089	ANSI/ASTM C 700 ASTM C 425 ANSI/ASTM C 301
HIERRO FUNDIDO		ASTM A 74-72 ANSI A 21.6 (AWWA C106) ASTM C 644

TABLA G.3.14
Normas que deben utilizarse en la fabricación de los diferentes tipos de tuberías flexibles para alcantarillados

Material de la Tubería	Norma Técnica Colombiana	Normas Técnicas Internacionales (selección a criterio del fabricante)	
HIERRO DÚCTIL	NTC 2346 NTC 2629	ANSI A 21.4 (AWWA C104) ANSI A 21.5 (AWWA C105) ANSI/AWWA C110	ASTM A 746 ISO 4633
ACERO	NTC 2091	ASTM A 475 ASTM A 760 ASTM A 762	AASHTO M-36 AASHTO M-245
TERMO - PLÁSTICA			
Polietileno	NTC 1747 NTC 3409 NTC 3410 NTC 3694	ASTM D 2239 ASTM D 3035 ASTM D 3261	
Polietileno de alta Densidad		ASTM F 1248 ASTM D 2412 ASTM D 3035	ASTM F 714 ASTM F 894
Policloruro de vinilo (PVC)	NTC 1087 NTC 1341 NTC 2534 NTC 2697 NTC 3640 NTC 1748 NTC 3721 NTC 3722	ANSI/ASTM D 2564 ANSI/ASTM D 3033 ANSI/ASTM D 3034 ANSI/ASTM D 3212 ANSI/ASTM F 477	ASTM F 545 ASTM F 679 ASTM F 949 ANSI/ASTM D 2680
Acrilonitrilo- butadieno-estireno simple y compuesto (ABS)		ANSI/ASTM D 2680 ANSI/ASTM D 2235 ANSI/ASTM D 2751	ANSI/ASTM D 3212 ANSI/ASTM F 477 ASTM F 545
PLÁSTICA TERMO-ESTABLE			
Fibra de vidrio (Resina termoestable reforzada) (RTR)	NTC 2836	ASTM D 2996 ANSI/ASTM D 2997	ASTM D 2310 ASTM D 3754 ASTM D 3262
Mortero plástico reforzado (RPM)		ANSI/ASTM D 3262	ASTM D 3754

Pueden utilizarse materiales diferentes a los anteriormente incluidos en las Tablas G.3.13 y G.3.14 siempre y cuando se demuestre analítica y experimentalmente y mediante la utilización en proyectos piloto que el nuevo material para fabricación de tuberías de alcantarillado cumple con los mismos criterios de comportamiento que establece el presente Título, según se trate de tuberías rígidas o flexibles.

G.3.4.3 UNIONES DE TUBERÍAS

En el diseño y construcción de todo sistema de alcantarillado sanitario, independientemente del tipo de tubería especificado, deben utilizarse uniones de tuberías confiables, impermeables a la infiltración y a la exfiltración, resistentes a las raíces, flexibles, durables y seguras.

Los tipos de uniones que pueden utilizarse y algunas normas a las que hacen referencia se presentan en la Tabla G.3.15.

TABLA G.3.15
Normas que regulan los diferentes tipos de uniones de tuberías

Tipo de Unión	Normas de referencia
Uniones con Empaque	NTC 44 ASTM C 443-94 ASTM C 505-95
Uniones bituminosas	
Uniones con mortero de cemento	
Uniones a base de compuestos elastoméricos sellantes	NTC 1328 NTC 2534
Uniones a base de solventes cementantes	ASTM D 402
Uniones de fusión por calentamiento	
Uniones con masilla o epóxico	
Uniones con bandas sellantes	ASTM C 877 ASTM 990-96

Todo sistema de alcantarillado, y en especial las uniones, juntas, accesorios y dispositivos deben someterse a pruebas de infiltración y exfiltración según se establece en el Título D.

G.3.4.4 Requerimientos estructurales

G.3.4.4.1 Generalidades

El diseño estructural de un alcantarillado sanitario exige que la resistencia de la tubería instalada dividida por un factor de seguridad determinado debe igualar o exceder las cargas impuestas sobre esta por la combinación del peso de suelo y cualquier carga sobreimpuesta sobre el terreno.

Se presentan las consideraciones básicas para el diseño de tuberías rígidas y flexibles para las condiciones básicas de instalación que son en una zanja en terreno natural y en un relleno. No se considera el caso de tuberías flexibles de rigidez intermedia. Para estos casos especiales el diseñador debe basarse en métodos de análisis por computador que consideren la interacción suelo estructura o en métodos aproximados haciendo consideraciones conservativas en el diseño. La evaluación de los efectos de las cargas externas, bien sea el peso propio del terreno o las cargas sobreimpuestas debe llevarse a cabo de acuerdo con las metodologías aceptadas que se presentan en G.3.2, dependiendo del tipo de instalación en zanja o en relleno según se establece en dicho literal y según se trate de tubería rígida o flexible. Se debe utilizar la combinación de carga que resulte más crítica en cada caso particular de análisis utilizando el método de diseño por esfuerzos y/o deformaciones admisibles. Pueden utilizarse métodos alternativos de diseño, como el método de diseño por resistencia, siempre y cuando el diseñador lo justifique claramente y se verifiquen las condiciones de deformación y deflexión cuando estas controlen el diseño.

G.3.4.4.2 Factores de seguridad en el diseño y comportamiento límite

Para el diseño estructural de tuberías sanitarias deben identificarse las condiciones de comportamiento límite más severas para el material en relación con el uso o servicio propuesto o la aplicación de diseño límite. El comportamiento límite puede establecerse en términos de resistencias, esfuerzos, deformaciones, desplazamientos límites, dependiendo de las características del material bajo consideración. El diseñador debe seleccionar el factor de seguridad que debe aplicarse al comportamiento límite máximo identificado para calcular los valores de diseño o valores de comportamiento en servicio o admisibles.

Los factores de seguridad seleccionados en el diseño deben relacionarse con condiciones esperadas en el sitio de construcción, el modo o tipo de falla del material de construcción y el costo potencial de una falla del sistema. El factor de seguridad no debe cubrir prácticas de construcción deficientes o una pobre inspección técnica.

Los valores de comportamiento en servicio o admisibles definidos con los factores de comportamiento límite y los factores de seguridad deben compararse con las condiciones correspondientes a las fuerzas externas actuantes según lo establecido en G.3.2.

G.3.4.4.3 Tuberías rígidas

Los límites de comportamiento de diseño para tuberías rígidas de alcantarillado generalmente se expresan en términos de resistencia bajo carga. La resistencia bajo cargas de servicio puede determinarse mediante dos métodos alternativos: analíticamente o mediante ensayos.

El comportamiento límite para tuberías rígidas determinado mediante ensayos se basa en el ensayo de resistencia en tres apoyos, especificado en las normas NTC 212 y en las normas ASTM C 301 para tuberías de arcilla vitrificada, ASTM C 497 para tuberías de concreto y concreto reforzado y en la norma ASTM C 500 para tuberías de asbesto cemento. Las mismas normas establecen las resistencias mínimas requeridas para el ensayo de resistencia en tres apoyos.

El diseño estructural de sistemas de tuberías rígidas para alcantarillados debe basarse en la resistencia del producto instalado. Las tuberías de concreto reforzado fundidas en el sitio, puede diseñarse con base en el método de análisis de la resistencia de diseño en término de los efectos de flexión, cortante y axial producidos por las cargas actuantes.

Para tuberías rígidas prefabricadas, la resistencia de diseño debe determinarse a partir del ensayo de resistencia en tres apoyos. Para el diseño debe cumplirse la siguiente relación :

$$\text{Carga Máxima Actuante} \leq \frac{\text{Carga Rotura 3 Apoyos} \times \text{Factor Soporte}}{\text{FS}}$$

Los factores de seguridad mínimos a utilizar en el diseño deben ser de 1.0 cuando se diseñe para las cargas que producen una fisuración de 0.3 mm (concreto reforzado) y de 1.5 cuando se diseñe para la resistencia última del elemento (concreto sin refuerzo y gres).

El factor de soporte para tuberías en zanjas o en rellenos se define como la relación entre la resistencia de una tubería dada en determinadas condiciones de carga y de soporte, y su resistencia medida mediante el ensayo de resistencia en tres apoyos.

1. Tuberías en zanja

El factor de soporte para tuberías en zanja depende del tipo de soporte que se proporcione a la tubería. Para efectos del presente Título se consideran cuatro clases de estructuras de soporte, cuyas especificaciones detalladas están definidas en las normas NTC, ANSI Y ASTM correspondientes.

La Tabla G.3.16 define el factor de soporte para las diferentes estructuras de soporte establecidas para instalaciones en zanja.

TABLA G.3.16

Factor de soporte para diferentes estructuras de soporte

Clase	Tipo de Estructura de Soporte	Factor de Soporte
A	• Soporte de Concreto	
	- Concreto simple con relleno ligeramente compactado	2.2
	- Concreto simple con relleno cuidadosamente compactado	2.8
	- Concreto reforzado con cuantía $\rho=0.40\%$	3.4
	- Concreto reforzado con cuantía $\rho=1.00\%$	4.8
	• Arco de Concreto	
	- Concreto simple	2.8
	- Concreto reforzado con cuantía $\rho=0.40\%$	3.4
	- Concreto reforzado con cuantía $\rho=1.00\%$	4.8
B	• Cama de soporte granular compactada	1.9
C	• Cama de soporte granular	1.5
D	• Cimentación plana con relleno suelto	1.1

Es posible la utilización de factores de soporte diferentes a los anteriores, siempre y cuando el diseñador justifique claramente el valor propuesto y presente la sustentación escrita correspondiente.

2. Tuberías en rellenos

Para el caso de tuberías rígidas colocadas en rellenos, el ingeniero diseñador puede incluir la presión activa del suelo contra las paredes de las tuberías rígidas como factor adicional de resistencia a cargas verticales. Sin embargo debe considerar que con el tiempo, estas presiones normalmente alcanzan la condición de reposo del suelo. Para conductos con proyección negativa o positiva y para condiciones de relleno con zanja inducida, la distribución y magnitud de las presiones laterales son diferentes entre sí y estas pueden controlar el diseño estructural de la tubería para alcantarillado. Para el efecto se debe contar con la participación del ingeniero geotecnista en el diseño.

3. Tuberías en rellenos o zanjas con proyección positiva

El factor de soporte para tuberías rígidas instaladas en rellenos o en zanjas anchas depende de la cama de soporte en la cual se coloca la tubería, de la magnitud de la presión lateral activa del suelo contra las paredes de la tubería y del área de la tubería sobre la cual es efectiva la presión lateral activa. Para efectos del presente Título se consideran cuatro clases de estructuras de soporte, cuyas especificaciones detalladas están definidas en las normas NTC, ANSI Y ASTM correspondientes.

Para tuberías rígidas en proyección positiva, el factor de soporte, L_f , se calcula de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$L_f = \frac{F_f}{N - xq} \quad (\text{G.3.24})$$

El Factor de forma de la tubería F_f se calcula de acuerdo con la Tabla G.3.17. El parámetro N se calcula de acuerdo con la Tabla G.3.18 y x se calcula de acuerdo con la Tabla G.3.19

TABLA G.3.17
Valores de F_f para tubos circulares, elípticos y en arco

Forma del tubo	F_f
Circular	1.431
Elíptico	
- Elíptico horizontal y en arco	1.337
- Elíptico Vertical	1.021

TABLA G.3.18
Valores de N

Clase de soporte	Valor de N		
	Forma del tubo		
	Tubo Circular	Tubo elíptico horizontal	Tubo elíptico vertical
A (apoyo de concreto reforzado)	0.421 - 0.505	-	-
A (apoyo de concreto no reforzado)	0.505 - 0.636	-	-
B	0.707	0.630	0.516
C	0.840	0.763	0.615
D	1.310	-	-

Nota: Las clases de soporte A,B,C y D para tuberías en relleno con proyección positiva deben consultarse en las normas técnicas NTC, ANSI y ASTM correspondientes.

TABLA G.3.19
Valores de x

Porción del tubo sujeto a presión lateral (m)	x			
	Lecho de la tubería Tipo A	Lecho de la tubería diferente al Tipo A		
		Tubo Circular	Tubo Circular	Tubo elíptico horizontal
0.00	0.150	0.000	0.000	0.000
0.30	0.743	0.217	0.146	0.238
0.50	0.856	0.423	0.268	0.457
0.70	0.811	0.594	0.369	0.639
0.90	0.678	0.655	0.421	0.718
1.00	0.638	0.638	-	-

El valor de q puede calcularse con la siguiente ecuación:

$$q = \frac{mk}{C_c} \left(\frac{H}{D_e} + \frac{m}{2} \right) \quad (\text{G.3.25})$$

Puede usarse un valor promedio de $k = 0.33$ cuando no se dispone de información precisa.

4. Tuberías con proyección negativa

Para tuberías rígidas en rellenos con proyección negativa pueden utilizarse los mismos factores de soporte indicados para las clases de soporte (A, B, C y D) definidos para tuberías rígidas en zanja. (ver Tabla G.3.16)

Para los casos de tuberías rígidas en rellenos con proyección negativa en los cuales se compacte de manera adecuada el suelo perimetral y pueda garantizarse soporte lateral contra la tubería, pueden utilizarse las ecuaciones (G.3.24) y (G.3.25) utilizando un valor de k igual a 0.15 para estimar las presiones laterales sobre la tubería.

5. Tuberías en rellenos en condiciones de zanja inducida

Para los casos de tuberías rígidas en rellenos en condiciones de zanja inducida, los factores de soporte se pueden calcular utilizando las ecuaciones (G.3.24) y (G.3.25).

G.3.4.4.4 Tuberías flexibles

1. General

Los comportamientos límites que deben considerarse para el diseño estructural de tuberías flexibles son: deflexión excesiva, colapso, pandeo, agrietamiento o laminación. El comportamiento de la tubería debe regularse mediante la deflexión de la misma, y la deflexión que se considera admisible depende de las propiedades físicas del material utilizado y de las limitaciones impuestas por el proyecto.

El diseñador debe consultar los fabricantes de los diferentes tipos de tuberías quienes a su vez deben especificar las deflexiones admisibles, los esfuerzos críticos de colapso y de pandeo en las paredes de los tubos que fabrican, valores que dependen de los efectos de restricción de la estructura de suelo alrededor del tubo y de las propiedades de la pared del mismo, y de los esfuerzos o deformaciones que producen agrietamientos, fisuración, laminación y en general cualquier efecto que cambie la apariencia y el comportamiento del material degradándolo con respecto a la situación original.

Igualmente el fabricante debe proporcionar información referente a las deflexiones a largo plazo para diferentes condiciones de instalación, de manera que el diseñador verifique que la tubería a instalar no presenta problemas por este factor.

2. Diseño de tuberías de hierro dúctil

El diseño de tuberías de hierro dúctil debe basarse en esfuerzos y deflexiones límites, para aquella condición que resulte más crítica. La determinación del espesor de tubería debe realizarse de acuerdo con las normas técnicas correspondientes y con las recomendaciones del Ductile Iron Pipe Research Association.

El espesor neto calculado de acuerdo con lo especificado debe aumentarse en al menos 12 mm para consideraciones de corrosión, imperfecciones y similares. Adicionalmente debe incluirse una tolerancia por la fundida, la cual es proporcional al diámetro y debe calcularse según la Tabla G.3.20. También podrá utilizarse para la tolerancia del espesor, las fórmulas que para este efecto dan la norma ISO 2531/91 y la norma AWWA C150 de 1.996.

TABLA G.3.20
Tolerancias para la fundida de tuberías de hierro dúctil

Diámetro (mm)	Tolerancia (mm)
100 - 200	1.3
250 - 300	1.5
350 - 1050	1.8
1200	2.0
1350	2.3

3. Diseño de tuberías de acero

El diseño de tuberías de acero debe basarse en esfuerzos y deflexiones límites, para aquella condición que resulten más crítica. Pueden utilizar los requisitos aplicables del anexo G-1.

4. Rigideces mínimas requeridas para tuberías de plástico

Las rigideces mínimas requeridas para tuberías de plástico son las que se presentan en la Tabla G.3.21.

TABLA G.3.21

Rigideces mínimas requeridas para tuberías de plástico cargadas por medio del ensayo de placas paralelas*

Material	Especificación	Diámetro nominal		Rigidez mínima requerida para una deflexión del 5%		
		(mm)	(pulg)	(N/m ²)	(lbs/pulg ²)	
ABS simple	ASTM D 2751 SDR 23.5 SDR 35	114 y 168	4 y 6	26388	150	
		88	3	8796	50	
	SDR 42	114 y 168	4 y 6	7917	45	
		219, 273 y 323	8, 10 y 12	3519	20	
ABS compuesta	ASTM D 2680	219 - 381	8 - 15	35185	200	
RPM	ASTM D 3262	219 - 457	8 - 18	17417 - 13546	99 - 77	
		208 - 2743	20 - 108	1759	10	
PVC	ASTM D 2729 (PVC-12454)	60	2	10380	59	
		88	3	3343	19	
		114	4	1935	11	
		127	5	1583	9	
		168	6	1407	8	
	ASTM D 2729 (PVC-13364)	60	2	13019	74	
		88	3	4222	24	
		114	4	2287	13	
		127	5	2111	12	
		168	6	1759	10	
	ASTM D 3033	SDR 41	168 - 381	6 - 15	4925	28
		SDR 35	114 - 381	4 - 15	8093	46
	ASTM D 3034-NTC 1748	SDR 41	168 - 381	6 - 15	4925	28
		SDR 35	114 - 381	4 - 15	8029	46
	NTC 3721 3722		110 - 1600	4 - 63	4925 - 10026	28 - 57

*Norma ASTM 2412
 **No se han listado otros materiales, para los cuales no se tienen suficientes datos disponibles
 Nota : 1 pulgada = 25.40 mm ; 1 psi = 6.89 Kpa

5. Diseño de tuberías de plástico

La rigidez de las tuberías de plástico, las características de carga y deflexión deben determinarse mediante el ensayo de placas paralelas según la norma NTC 3254 o ASTM D 2412 y según la siguiente fórmula:

$$k_t = \frac{F}{\Delta y p} = \frac{EI}{0.149r^3} \quad (\text{G.3.26})$$

El nivel de deflexión para hallar k_t se determina en el ensayo de placas paralelas.

Con base en la fórmula anterior, el diseñador puede calcular el valor de EI a utilizar en las fórmulas del literal G.3.2. Para estimar la deflexión aproximada en las condiciones de campo, el ingeniero diseñador debe establecer el límite admisible en las deflexiones basado en los resultados del ensayo y en la recomendaciones y datos suministrados por los fabricantes.

El diseño estructural de tuberías flexibles de plástico se basa en que la deflexión máxima bajo carga a largo plazo no sea superior a la deflexión límite admisible de diseño, la cual a su vez se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Deflexión máxima bajo carga a largo plazo} \leq \text{Deflexión límite admisible de diseño} \leq \frac{\text{Deflexión límite crítica}}{\text{FS}}$$

El factor de seguridad, FS, debe estimarse con base en las características del suelo, en el grado de compactación esperado, en resultados de ensayos de carga disponibles y en la experiencia práctica. Los valores típicos están entre 1.5 y 2.5.

6. Instalación de tuberías flexibles

La construcción del material de relleno alrededor de la tubería flexibles debe realizarse de manera que se garantice la adecuada interacción suelo-estructura supuesta en el análisis. Además de los requisitos establecidos en las normas ASTM D 2321 y ASTM D 3839 deben cumplirse las normas NTC correspondientes a cada tipo de material.

G.3.5 DISEÑO DE TANQUES Y COMPARTIMENTOS ESTANCOS

G.3.5.1 GENERALIDADES

G.3.5.1.1 Tanques en concreto reforzado

El diseño de tanques y compartimentos estancos en concreto reforzado debe realizarse de acuerdo con lo establecido en el Capítulo C.20 de las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente, NSR-98, Ley 400 de 1997 y Decreto 33 de 1998 o los decretos que lo reemplacen, complementadas por lo dispuesto en el literal G.3.4.2.

G.3.5.1.2 Tanques de acero

El diseño y montaje de tanques de acero soldado debe realizarse de acuerdo con normas internacionales existentes tales como el API Standard 650 o equivalentes. El diseñador debe realizar consideraciones especiales para considerar el grado de exposición a que se verán sometidos los elementos de acero y debe justificar claramente estas consideraciones en la memoria de cálculo. Se deben cumplir igualmente los requerimientos aplicables del Título F de las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente, NSR-98, Ley 400 de 1997 y Decreto 33 de 1998 o los decretos que lo reemplacen.

G.3.5.1.3 Tanques de otros materiales

Se permite el uso de tanques de otros materiales siempre y cuando el fabricante demuestre que este cumple con requisitos equivalentes para tanques de concreto y acero, en cuanto a estanqueidad, resistencia estructural, resistencia sísmica, resistencia al ataque de químicos, materiales o resultantes de los procesos, funcionalidad y durabilidad. El diseñador debe aprobar la utilización particular de un tanque determinado.

G.3.5.2 REQUISITOS COMPLEMENTARIOS PARA ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO

En estructuras de concreto reforzado propias de ingeniería ambiental y sanitaria deben considerarse los siguientes aspectos prioritarios del diseño: concreto muy denso e impermeable para evitar la contaminación de agua o del ambiente; concreto de alta resistencia a químicos naturales o utilizados en los procesos; concreto con superficies lisas y bien formadas para minimizar resistencia al flujo; minimización de las deflexiones y del agrietamiento; baja permeabilidad y buena durabilidad.

Los muros con altura de 3 m o más deben tener un espesor mínimo de 30 cm. El diámetro máximo de las barras principales no debe ser superior al 6% del espesor del elemento que refuerza y el espaciamiento máximo entre barras verticales y horizontales no debe exceder 30 cm centro a centro.

El ingeniero diseñador debe a su juicio castigar los diferentes factores del diseño dependiendo del grado de exposición a que se verán los elementos que está diseñando. A falta de mejor información y para el caso de grado de exposición muy severa debe utilizarse el 80% de los esfuerzos admisibles establecidos en el método de diseño por esfuerzos admisibles.

Cuando las condiciones son suficientemente severas para deteriorar la calidad de un buen concreto deben utilizarse unas barreras o revestimientos protectores a la superficie del concreto los cuales deben demostrar una excelente adhesión al concreto y deben ser completamente impermeables.

El ingeniero diseñador debe consultar los fabricantes especializados de materiales protectores con el fin de obtener información referente a la mejor preparación de la superficie del concreto, el proporcionamiento y mezclado óptimo de cada producto y la mejor manera de aplicación.

Antes de la aplicación debe establecerse el nivel de toxicidad de cada producto y deben tomarse todas las medidas de precaución tales como ventilación y equipo protector para los operarios.

CAPÍTULO G.4

G.4. ASPECTOS DE CONSTRUCCIÓN

G.4.1 GENERALIDADES

G.4.1.1 ALCANCE

El propósito del siguiente capítulo es fijar los criterios básicos y requisitos mínimos que deben reunir los diferentes procesos relacionados con los aspectos de construcción de los sistemas de agua potable y saneamiento básico que se desarrollen en la República de Colombia, con el fin de garantizar su seguridad, durabilidad, funcionalidad, calidad, eficiencia, sostenibilidad y redundancia dentro de un **Nivel de Complejidad del Sistema** determinado.

El presente título incluye las siguientes actividades que forman parte de los aspectos de construcción:

- Organización de la obra
- Limpieza de la obra
- Maquinaria y equipo
- Accesos a campamentos, estaciones de bombeo, plantas de tratamiento y localidades
- Instalaciones y conexiones
- Transporte y almacenamiento de tuberías y materiales
- Pruebas
- Señalización y seguridad durante la construcción

Los literales de este capítulo aplican para la totalidad de los **Niveles de Complejidad del Sistema** definidos en el Título A y están dirigidos principalmente al constructor y al interventor de la obra.

G.4.1.2 NORMAS Y ESPECIFICACIONES

Las siguientes son las normas técnicas del Instituto Colombiano de Normas Técnicas (ICONTEC), de la Sociedad Americana para Ensayos de Materiales (ASTM), del American Petroleum Institute (API) a las cuales hace referencia el capítulo G.4 de este, haciendo parte integral del mismo.

G.4.1.2.1 Normas técnicas colombianas

NTC 1461 Higiene y seguridad. Colores y señales de seguridad.
NTC 3458 Higiene y seguridad. Identificación de tuberías y servicios.

G.4.1.2.2 Normas técnicas AWWA

C 206 Standard for field welding of steel water pipe.
C 605 Standard for underground installation of polyvinyl chloride (PVC) pressure pipe and fittings for water.

G.4.1.2.3 Normas técnicas ASTM

C 12 Standard practice for installation vitrified clay pipe lines.

G.4.1.2.4 Normas técnicas API

1104 Radiografías para inspección de soldaduras.

G.4.1.3 PLANOS DE CONSTRUCCIÓN

Todo proyecto clasificado en el **Nivel de Complejidad Alto y Medio Alto del Sistema** debe tener en el sitio de obra y a disposición permanente de las autoridades competentes y del interventor los planos de construcción correspondientes a todos los diseños realizados.

G.4.1.4 PLAN DE CALIDAD

Las personas naturales o jurídicas responsables de la construcción en obras para sistemas de nivel de complejidad Medio-Alto y Alto deben obligatoriamente tener implementado un plan de calidad de acuerdo con las normas NTC (ISO 9002).

Para sistemas de complejidad Bajo y Medio se recomienda que el responsable de la construcción tenga implementado o implemente un plan de calidad.

G.4.2 ORGANIZACIÓN DE LA OBRA

G.4.2.1 DEFINICIÓN DE ETAPAS DE CONSTRUCCIÓN Y PROGRAMACIÓN DE LA OBRA

En su oferta, el constructor debe indicar claramente el número de grupos de trabajo que utilizará, incluyendo un plan general de organización en el que se muestre la localización de los materiales, equipos, instrumentos, y la secuencia en la que operarán éstos, los cuales no pueden ser modificados sin previo consentimiento del interventor. Este hecho no es causal de reclamos o reajustes.

En caso que el constructor se proponga subcontratar parte de los trabajos, debe incluir en el programa las actividades pertinentes objeto de la subcontratación.

El programa general de obra debe ser presentado en un programa de computador propio para éste fin, que debe incluir un CPM (método para determinar la duración de actividades, el manejo de los recursos, e identificar las actividades críticas en el tiempo, dentro de una programación de un proyecto) detallado en el que se muestre la duración de cada actividad, sus terminaciones tempranas y tardías, precedencias y ruta crítica.

En el programa de obra se deben adoptar los controles y medidas que se requieran para preservar el bienestar público, el orden y la seguridad de la población, garantizando la circulación vehicular y la mínima afectación de los demás servicios públicos, con la implementación de horarios especiales para trabajos particulares, reposiciones de asfaltos, concretos y superficies de piso de manera rápida, asignación de cuadrillas de arreglo y limpieza luego de ejecutada la obra, planes y programas permanentes de desvío de tránsito, seguridad y señalización, entre otras medidas.

Debe tenerse en cuenta en el programa de obra que las cuadrillas de excavación no deben distanciarse a más de una longitud recomendada de 400 metros de las cuadrillas de tape y reposición para facilitar el manejo de la obra.

Debido a las múltiples actividades que puede llegar a implicar la construcción de una obra de acueducto y alcantarillado y la gran incidencia que en el costo de las obras tiene el factor tiempo, es indispensable un control minucioso sobre la programación de las etapas de construcción y a su vez, una elaboración detallada y precisa de los planes de trabajo. Debido a esto el constructor debe ejecutar las siguientes labores con el fin de garantizar el cumplimiento del programa de obra:

- Comprobar que los trabajos se adelanten de acuerdo con los plazos, el flujo de los recursos y los rendimientos previstos.
- Establecer las posibles alteraciones en su cumplimiento, ya sea por fallas en la organización de la obra , en el propio programa de trabajo o por otras causas que afecten su normal desarrollo.
- Efectuar las modificaciones que tuvieran que introducirse al programa para corregir los atrasos que sufra, con miras a minimizar tales efectos.
- Presentar las recomendaciones necesarias en cuanto a las medidas que deban tomarse a fin de que la obra se adelante en forma óptima.

- Por último, vigilar el desarrollo del programa de obra y actualizarlo cuando así lo exijan las circunstancias.

El constructor debe elaborar informes de obra ejecutada y entregarlos al interventor, con el fin de mostrar el avance de la misma y el cumplimiento con lo programado inicialmente.

G.4.2.2 COSTOS Y CANTIDADES DE OBRA

G.4.2.2.1 Costo de preparación de la propuesta

Son de cargo del constructor todos los costos asociados a la preparación y presentación de su propuesta y el ente administrativo en ningún caso es responsable de los mismos.

Las cantidades de obra son colocadas según formulario dado por el ente administrativo, expresando su unidad de pago.

G.4.2.2.2 Sistema de precios

La oferta debe presentarse por el sistema de precios unitarios, para la totalidad de capítulos que conforman el proyecto, excepto que el ente administrativo requiera un sistema diferente (precio global u otro).

El constructor debe tener en cuenta que él es el único responsable por la vinculación de personal, la celebración de subcontratos y la adquisición de materiales, todo lo cual realiza en su propio nombre y por su cuenta y riesgo, sin que el ente administrativo adquiera responsabilidad alguna por dichos actos.

Todos los precios deben suministrarse separadamente para cada capítulo en pesos colombianos. En caso que para cualquier capítulo, se omita el precio unitario y se fije el valor total, el ente administrativo debe determinar este valor unitario dividiendo el valor total por la respectiva cantidad.

En caso de existir diferencia entre el precio total de un ítem consignado en la oferta y el producto entre el precio unitario y su cantidad, prevalecerá el producto de esta operación.

G.4.2.2.3 Costos por garantías y seguros

El constructor debe tener en cuenta que son de cargo del constructor favorecido con la adjudicación, los costos de la garantía y seguros que se estipulan en la minuta del contrato a suscribirse.

G.4.2.3 TRABAJOS PRELIMINARES

G.4.2.3.1 Descripción

Comprende todas las actividades preliminares necesarias para la ejecución de las obras, tales como demoliciones, campamentos, almacén, oficina, cerramientos, instalaciones provisionales del servicio de acueducto, energía, teléfono, sanitarios, limpieza y descapote del terreno y la localización de las obras.

1. Demoliciones

Se deben ejecutar las demoliciones indicadas en los planos, en el formulario de propuesta o las que señale el interventor, retirando a la mayor brevedad previa autorización del interventor, los escombros y demás materiales resultantes. Las entidades se reservan el derecho de propiedad sobre los materiales de valor que resulten de la demolición y pueden exigir al constructor su reutilización o el transporte de ellos hasta algún sitio determinado por el inventor, a distancia no mayor a 25 km. Los materiales y elementos aprovechables, a criterio del interventor deben retirarse o desmontarse con especial cuidado para evitar el daño que impida su empleo posterior.

Las demoliciones deben ejecutarse de acuerdo con las normas de seguridad y tomando las precauciones necesarias para evitar accidentes de los trabajadores o terceras personas y daños a las obras que se construyen o a propiedades vecinas.

2. Demolición y retiro de andenes

Se refiere al corte y extracción de las diferentes partes del andén con su respectivo entresuelo y rebebo, en los sitios que señale el interventor y de acuerdo con sus instrucciones.

El corte y la extracción del andén se limita a las dimensiones indicadas por el interventor teniendo en cuenta el ancho de las excavaciones fijado por el diseñador.

Se trabaja con especial cuidado para no mezclar el entresuelo y el rebebo con los demás materiales y lograr así su reutilización. Estos materiales son propiedad del ente administrativo.

El precio incluye los costos directos e indirectos necesarios para la ejecución de la actividad, la botada de escombros y la selección y almacenamiento de los materiales reutilizables.

3. Remoción de pavimento

Antes de comenzar con los trabajos de excavación, se efectúa la rotura de las superficies pavimentadas cuando éstas existan. En caso de pavimento de asfalto, de concreto o similares, la rotura se efectúa cortando la superficie de manera perpendicular para evitar daños a las zonas circundantes y facilitar así la sucesiva repavimentación.

Si no se requieren o recomiendan medidas diferentes, el ancho del corte debe estar limitado al mínimo necesario para llevar a cabo los trabajos de excavación y debe efectuarse con equipos adecuados como ruedas diamantadas, martillo neumático o fresas; la profundidad del corte depende del espesor de la pavimentación existente.

El material de la pavimentación generalmente no es reutilizado para la repavimentación, sino que es quitado, transportado y eliminado según lo especifica este Título.

En caso de pavimentación reutilizable (bloques de concreto, piedra natural, ladrillo, etc.) los elementos quitados deben apilarse cuidadosamente en lugares adecuados cerca del lugar donde son reutilizados, para facilitar la posterior instalación.

4. Remoción de zona verde

Cuando el proyecto atraviese zonas con vegetación (prado, árboles o arbustos) estas son cortadas y quitadas en el ancho mínimo necesario para poder desarrollar correctamente las siguientes actividades de excavación. De ser necesario deben retirarse también las raíces de los árboles usando equipos adecuados para ello.

En zonas donde el prado sea retirado, éste debe ser cortado formando cuadrículas que faciliten su posterior reutilización.

5. Centro de acopio para materiales

El constructor cuenta durante la ejecución del contrato con un centro de acopio para los materiales a utilizar en la obra, incluyendo los resultantes de las excavaciones que posteriormente se utilizan en los rellenos. Por ningún motivo se acepta, el depósito y acumulación de algún material o escombros en las zonas de trabajo o en espacio público y por lo tanto durante las horas no laborales, la zona de trabajo debe permanecer libre de escombros y de materiales.

6. Cerramientos provisionales

El constructor en cuanto sea posible, debe aislar el lugar de los trabajos de las zonas aledañas, mediante cerramientos provisionales con una altura mínima de 2,50 metros y gestionará ante las autoridades competentes el respectivo permiso.

Se proveen puertas para el tráfico de vehículos y peatones, provistas de los elementos que garanticen el aislamiento y seguridad de las obras. Sobre las puertas se deben colocar los números correspondientes a la nomenclatura provisional que aparece en la licencia de construcción.

7. Servicio de acueducto, alcantarillado, energía y teléfonos

El constructor gestiona ante las autoridades respectivas los permisos y la legalización de las instalaciones provisionales de servicios públicos siendo responsables por el mantenimiento, la extensión, la ampliación de estas y los pagos que se generen por lo anterior.

El ente administrativo debe prestar los servicios disponibles en el lugar de las obras. Si no se pueden prestar estos servicios oportunamente, la demora en ello no es causa para la ampliación del plazo en la ejecución de las obras contratadas.

La acometida provisional de la energía se construye por líneas aéreas sobre postes de madera y cables forrados con altura no menor a tres 3 metros sobre el nivel del terreno. Antes de hacer la solicitud de la instalación, el constructor calcula los consumos previendo que el suministro sea suficiente para atender las necesidades de la construcción, mientras se hace la instalación definitiva.

8. Localización, trazado y replanteo

Para la localización horizontal y vertical del proyecto el constructor debe ponerse de acuerdo con el interventor para determinar una línea básica debidamente amojonada y acotada, con referencias (a puntos u objetos fácilmente determinables) distantes bien protegidas y que en todo momento sirvan de base para hacer los replanteos y nivelaciones necesarios.

El replanteo y nivelación de las obras es ejecutado por el constructor, utilizando personal experto y equipos de precisión.

Antes de iniciar las obras el constructor somete a la aprobación del interventor la localización general del proyecto y sus niveles, teniendo presente que ella es necesaria únicamente para autorizar la iniciación de las obras.

Antes de iniciar la obra debe establecerse claramente el estado actual del entorno, como base para comparar y evaluar con el estado final luego de ejecutada la obra, este procedimiento debe estar apoyado con registro fotográfico, estado de viviendas y áreas públicas y la influencia de otras obras que se realicen en la zona.

9. Demolición de cámaras de inspección y tuberías de concreto

Comprende la demolición y retiro de escombros de tuberías de alcantarillado y cámaras de inspección existentes en el sitio de construcción.

Se deben ejecutar de acuerdo con las normas de seguridad establecidas tomando las precauciones necesarias para evitar accidentes de trabajo de los trabajadores o terceras personas y daños o perjuicios a el ente administrativo o a terceros. Se debe tener en cuenta que el ente administrativo se reserva el derecho de propiedad sobre los materiales de valor que resulten y pueden exigir al constructor su reutilización. Los materiales y elementos aprovechables deben retirarse o desmontarse con especial cuidado para evitar su deterioro.

G.4.3 LIMPIEZA DE LA OBRA

Durante el desarrollo de la obra, la zona de trabajo debe mantenerse limpia, en buenas condiciones sanitarias y libre de cualquier acumulación de materiales de desecho y de basuras.

Todas las labores que el constructor debe realizar para retirar basuras, escombros y materiales regados en las zonas de construcción se deben realizar por el personal y equipos del constructor durante la construcción, a no ser que el contrato establecido con el ente administrativo especifique lo contrario.

Para efectos de aplicación de los anteriores conceptos de trabajo, se define como zona de construcción una franja de 200 m a lado y lado del eje de la obra y las calles o vías por donde circulen los equipos de transporte de materiales con destino a la obra o procedentes de ella.

El constructor debe disponer los materiales sobrantes, producto de las excavaciones, colocándolos en las áreas provistas del proyecto, de conformidad con los alineamientos, dimensiones y cotas de los planos o en los sitios destinados para este fin por el interventor.

Debe escogerse y almacenarse en áreas aprobadas suficiente tierra negra orgánica para realizar oportunamente los rellenos especificados de este tipo.

Así mismo, en los casos en que para la colocación del material sobrante, de acuerdo con los planos, se hiciera necesaria la terminación previa de alguna parte de la obra, el material puede almacenarse provisionalmente en zonas vecinas aprobadas por el ente administrativo, para su posterior colocación definitiva.

Los excedentes del material sobrante, no utilizables, deben disponerse en áreas de desecho, aprobadas por las autoridades distritales .

El constructor no puede desechar materiales, colocándolos en áreas no aprobadas ni puede retirarlos para fines distintos del contrato, sin la autorización previa por escrito de la autoridad competente.

G.4.4 MAQUINARIA Y EQUIPO

G.4.4.1 ESPECIFICACIONES DE EQUIPO

Los equipos proveen mecanismos para la instalación de la tubería o realización de la zanja en condiciones particulares de dificultad o de posibilidad de incremento de rendimiento en la obra.

El constructor puede utilizar cualquier tipo de equipos y herramientas para la ejecución de las excavaciones, siempre y cuando proporcionen los resultados exigidos en este Título.

El equipo debe mantenerse en óptimas condiciones de funcionamiento y su capacidad y rendimiento deben producir el adelanto de la construcción de acuerdo con el programa de obra aprobado.

En el caso de emplear equipo mecánico, se deben emplear herramientas manuales para terminar las excavaciones a las medidas establecidas.

Las emisiones producidas por las maquinarias y equipos empleados para el desarrollo de la obra deben estar controladas con el fin de preservar limpio el medio ambiente. La autoridad competente puede decidir llegado el caso, el apartar del sitio de trabajo cierta maquinaria y/o equipo que según su concepto no cumpla con la máxima cantidad de emisión tóxica permitida para tal fin.

G.4.4.2 EQUIPO DE INSTALACIÓN

Para lo relacionado con la producción de concreto, el constructor puede usar cualquier tipo de equipo apropiado para la ejecución de las estructuras de concreto, incluyendo mezcladores, equipo de transporte, equipos de colocación de la mezcla, vibradores y otros.

- Mezcladoras. La capacidad mínima de las mezcladoras es de 0.15 m³ por cochada (mezcladora de un saco). El uso de un equipo de menor capacidad o mezclado manual solamente puede ser autorizado para volúmenes pequeños y elementos de concreto sometidos a bajos esfuerzos. Las mezcladoras, deben ser de un tipo adecuado que permita obtener una mezcla uniforme, deben tener un depósito para agua y dispositivos que permitan medir con precisión y controlar automáticamente tanto la aplicación de agua como el tiempo de mezclado.
- Vibradores. Deben ser del tipo de inmersión y deben operar a no menos de cinco mil 5.000 pulsaciones por minuto.
- Dispositivos para el transporte y colocación de la mezcla. No deben causar segregación de los agregados ni producir esfuerzos excesivos, desplazamiento o impactos en las formaleas.

Para la ejecución de rellenos, el constructor puede usar cualquier tipo de equipo mecánico y manual para la conformación y compactación, siempre y cuando se atiendan las especificaciones del diseñador según el literal G.2.5. Rellenos y compactación de zanjas y terraplenes.

Para la eliminación de agua de las excavaciones el constructor puede utilizar bombas extractoras, o en casos así acordados con el diseñador y el interventor, con drenajes preestablecidos. Las bombas deben ser en número y en capacidad suficiente para garantizar la adecuada remoción del agua en los tramos excavados durante el tiempo requerido de trabajo. El constructor debe acordar con el interventor la forma de descarga de agua evacuada para impedir el anegamiento de otras áreas de trabajo o el impacto negativo sobre estructuras, vías y obras circundantes al proyecto.

Para excavaciones en donde el geotecnista ha recomendado entibado para proteger los cortes, el constructor debe utilizar elementos de retención del terreno debidamente acordados con el interventor. Estos elementos típicamente incluyen apoyos verticales colocados a lo largo de la zanja de excavación a una distancia dictada por los análisis y recomendaciones geotécnicas, complementados por apoyos horizontales que transmiten las cargas del suelo a los apoyos verticales. El entibado puede incorporar elementos de madera, acero, u otro material según lo dispuesto por el ingeniero geotecnista y el estructural. El constructor debe tener especial cuidado de seguir el proceso constructivo y de utilizar los materiales especificados por el geotecnista. Cualquier variación a lo especificado debe ser acordada con el interventor.

- Bulldozers. Sus funciones principales son :
 - a) Excavaciones de poca profundidad, hasta 3.0 m, sean en terreno llano o media ladera.
 - b) Operaciones de retirado de arbustos o árboles pequeños.
 - c) Retirada de árboles usando la pala en posición izada como brazo de empuje.
 - d) Actuar como tractor de remolque.
 - e) Actuar como empujador de traillas.
- Retroexcavadoras. Estas máquinas son adecuadas para vaciados y excavaciones de zanjas y pozos de cimentación. Pueden utilizarse con o sin vehículo auxiliar de transporte, ya que las tierras de excavación pueden colocarse a lo largo de la excavación para ser utilizadas en el relleno posterior. La retroexcavadora es una máquina muy adecuada y precisa para excavar zanjas del mismo ancho de la cuchara, misión para la cual su rendimiento es muy alto.
- Grúas. Para la instalación de tubería cuyo diámetro y peso sea tal que esta operación no sea realiza manualmente, se utilizará una grúa. La grúa a emplear para los trabajos de instalación debe ser una de tipo móvil que permita su constante movimiento a lo largo de la línea de tendido de la tubería.

G.4.4.3 HERRAMIENTAS

En este literal se describen algunas de las herramientas más utilizadas en la construcción de los proyectos discutidos en este documento.

- Barras metálicas. Utilizada durante la instalación de la tubería con el fin de poder montar uniones en tubería de asbesto-cemento, realizar uniones de espigo-campana en tubería PVC y en fin poder realizar presión entre dos elementos de unión de tuberías. Se emplea para tubería cuyo diámetro oscile entre 6" a 28".
- Gatos hidráulicos. Para realizar uniones entre tubería e igualmente entre tuberías y accesorios cuyo diámetro sea mayor a 28" se puede emplear el gato hidráulico, utilizando como punto fijo el cucharón de una retroexcavadora.

En toda obra importante, es necesario disponer de herramientas adecuadas para trabajar la tubería. La consecución de tuberías en longitudes menores de cuatro metros, la recuperación de tuberías con extremos fisurados, o la instalación del collar de derivación para la tubería domiciliaria, se pueden lograr en la obra con el empleo de herramientas manuales como :

- Sierra manual de marco. Se aplica en cortes de toda clase hasta 8" de diámetro (200 mm)
- Cortadora. Se emplean para efectuar cortes transversales en cualquier punto a lo largo del tubo

- Cortadora-torneadora. Se emplea para cortar y torneare los extremos de los tubos.
- Taladro eléctrico o berbiquí. Se emplea para efectuar perforaciones en la tubería.
- Pisones de mano. Se emplean para realizar el relleno inicial de la tubería por debajo y alrededor de la tubería. Con el pisón de mano se pueden obtener resultados satisfactorios en suelos húmedos, con arcillas y arenas. Para realizar un buen trabajo se debe contar con dos tipos de pisones, el primero, debe ser una barra con una paleta delgada en la parte inferior. Estos se usan para la parte inferior de la tubería. El segundo, debe tener una cabeza plana y se usa para los costados de la tubería.

G.4.4.4 DISPOSICIONES EN VÍA PÚBLICA

La movilización en vía pública tanto de los equipos como de las herramientas empleadas para el desarrollo de la obra debe hacerse de la forma más organizada y segura con el fin de garantizar en todo momento tanto la seguridad del personal de la obra como del personal externo a ella.

Para la movilización de los equipos durante su operación deben colocarse señales que permitan visualizar la máquina desde una distancia prudencial, minimizando los accidentes. Con este fin se pueden emplear barricadas o señales luminosas.

G.4.5 ACCESOS A CAMPAMENTOS, ESTACIONES DE BOMBEO, PLANTAS DE TRATAMIENTO, LOCALIDADES

Los trabajos necesarios para la construcción de los caminos de acceso y de construcción comprenden el suministro de la mano de obra, equipos y materiales para definir el trazado, ejecutar los desmontes, limpieza, descapotes, la disposición de los materiales producto de las labores anteriores; construcción de pasos provisionales sobre corrientes de agua, afirmados y demás labores necesarias para permitir el libre y permanente acceso de los equipos y del personal del constructor a las zonas de almacenamiento y a los campamentos.

Los trabajos necesarios para habilitar las vías peatonales o carreteables existentes como caminos de construcción comprenden el suministro de la mano de obra, equipos, materiales para dotarlos de afirmados y pasos provisionales y para conservarlos adecuadamente durante el desarrollo de la obra.

G.4.6 CENTRO DE ACOPIO, CAMPAMENTO Y OFICINAS

Acorde con el contrato y de común acuerdo con el interventor, el constructor debe levantar en el sitio de la obra una caseta o construcción provisional, que reúna los mínimos requisitos de higiene, comodidad, ventilación y ofrezca protección y seguridad contra los agentes atmosféricos.

Puede también emplear construcciones existentes que se adapten a las condiciones requeridas.

Estas se utilizarán primordialmente para las oficinas de la dirección y del interventor, y para el almacén y el depósito de materiales que puedan sufrir pérdidas o deterioro por su exposición a la intemperie. La capacidad del depósito la debe determinar el flujo de materiales de acuerdo con el programa de trabajo.

El tamaño, materiales con que se construya, lo mismo que la ubicación o localización del campamento es de libre elección del constructor teniendo en cuenta que los permisos, primas, impuestos, prestaciones de servicios públicos, y otros, son gestionados y pagados por el constructor a su costo.

Los campamentos o casetas temporales se deben ubicar en sitios fácilmente drenables, donde no ofrezcan peligros de contaminación, con aguas negras, letrinas y demás desechos y deben contar con todos los servicios higiénicos debidamente conectados a los colectores de aguas negras existentes en cercanías de la caseta o campamento. Cuando ello no sea posible se debe construir un pozo séptico adecuado cuyo diseño es sometido a la aprobación del interventor.

Una vez terminada la obra, el campamento se debe demoler para restituir las condiciones que existían inmediatamente antes de iniciadas las construcciones.

Se entiende que todas estas actividades son por cuenta y riesgo del constructor.

G.4.7 INSTALACIONES Y CONEXIONES

G.4.7.1 GENERALIDADES

Inicialmente los tubos se colocan a un lado y a lo largo de la zanja de manera tal que puedan ser revisados por el interventor quien marca en forma visible todos los tubos que se encuentran defectuosos, los cuales deben ser retirados de la zona de trabajo.

El constructor debe hacer un replanteo del eje de la tubería de acuerdo con las cotas establecidas en los planos constructivos, este debe ser autorizado por el interventor para poder iniciar las excavaciones.

El interventor no puede dar autorización para la excavación de zanjas hasta cuando las tuberías se encuentren en cantidad suficiente, de modo que se vayan instalando paralelamente a medida que se avancen las zanjas. De acuerdo con el material existente y el personal disponible en la obra, el constructor, conjuntamente con el interventor, deben elaborar un plan de trabajo en forma tal que las excavaciones no se adelanten demasiado respecto a la instalación de las tuberías para evitar en lo posible los derrumbes causados por las lluvias, o por las fallas propias del terreno, o por excavaciones abandonadas por falta de tuberías.

Las tuberías se deben colocar partiendo de las cotas más baja hacia las cotas más altas, es decir en sentido contrario al flujo entre estructura y estructura de conexión. Todos los tubos deben colocarse sin interrupciones y sin cambios de pendientes.

Antes de iniciar la colocación del relleno de mortero, todo el espacio anular y la superficie del tubo y sus accesorios se deben encontrar libres de lodos, polvo, tierra, arena, fragmentos de roca, piedras, agua o cualquier otro material extraño, tanto exterior como interiormente. A medida que el trabajo progresa se deben mantener las mismas precauciones y se debe dejar perfectamente limpio el tubo en el momento de la terminación.

Al suspender la colocación de la tubería, las bocas de los tubos deben mantenerse taponadas para evitar que entren en ellos materiales extraños. Se deben tomar todas la precauciones necesarias para evitar la entrada de agua en la zanja, de manera que no se presente flotación de las tuberías. No se debe colocar tubería en la zanja si hay agua que afecte su instalación, ni cuando las condiciones generales de la zanja o el tiempo sean inapropiados para esta clase de trabajos.

Las tuberías deben colocarse sobre una cimentación estable, siguiendo exactamente las cotas, alineamientos y rasantes indicados en los planos de construcción y debe quedar soportada en toda la longitud del tubo. No se puede hacer ningún cambio de alineamiento o en la pendiente, sin autorización expresa de la supervisión técnica. Para la instalación de la tubería deben tenerse en cuenta siempre las instrucciones del fabricante.

No se permite el tránsito por encima de los tubos una vez que las uniones hayan quedado hechas, excepto lo necesario para el relleno y apisonado hasta cuando aquel alcance una altura mínimo de 0.50 m sobre las claves de los tubos.

No se permite amontonar materiales a menos de 0.60 m del borde de la zanja.

Se deben proveer y utilizar herramientas, implementos y facilidades apropiadas y adecuadas para hacer el trabajo en forma correcta y segura. Todo equipo y herramientas debe ser aprobado por el interventor. Para la instalación de tubería y accesorios solamente se deben emplear obreros calificados con experiencia en este tipo de trabajo.

Toda la tubería, las piezas especiales y sus accesorios debe ser bajados al fondo de la zanja, uno por uno, perpendicularmente mediante el uso de grúas o poleas, cables u otro equipo conveniente, de manera que no se generen daños en la tubería. Se recomienda suspender la tubería durante el ensamblaje para realizara un acople suave evitando daños en los sellos, espigos y campanas.

No se deben dejar caer o arrojar los tubos o accesorios al fondo de la excavación. Al bajar los tubos dentro de la zanja, se debe tener cuidado de no golpear el tubo que se ha colocado anteriormente. Con

este fin se debe utilizar un cabezal de madera frente del tubo colocado inicialmente, de manera que se le pueda proteger de los posibles daños generados por el tubo que se está bajando. El último tubo bajado que va a unirse con el resto del tubo ya atracado, debe colocarse a una distancia máxima de 30 cm del último tubo colocado con el objeto de permitir la adecuada preparación de la junta y de evitar los daños que se pueden causar a la base por un transporte largo del tubo.

Antes de colocar cada tubo, el anterior debe estar adecuadamente atracado, lo cual se logra mediante un relleno con material seleccionado compactado que se extienda desde la base ya construida hasta la mitad del diámetro exterior del tubo.

En todos los sitios en donde una porción de los tubos o de las conexiones domiciliarias queden localizadas a una distancia menor de 2 m de un árbol (distancia medida horizontalmente desde el centro del tubo hasta el centro del árbol) cuya remoción no esté prevista, las juntas deben quedar incrustadas en un bloque de mortero compuesto por una parte de volumen de cemento y dos partes en volumen de arena. Este bloque debe extenderse a lo largo del tubo en una longitud no menor de 15 cm de distancia del centro de la junta, en ambos sentidos, y su espesor, en la parte superior y alrededor de la campana, el collar o el diámetro mayor del tubo, debe ser mayor por lo menos 10 cm.

Cuando sea necesario cortar tubos, esto debe efectuarse de manera tal que el corte resultante sea limpio y exacto, libre de irregularidades y que quede una superficie lisa a noventa grados con el eje del tubo, o según se indique en los planos. En la planeación se debe reducir al máximo el número de cortes para evitar que se desperdicie la tubería.

En ningún caso se debe colocar tubería de hierro fundido, asbesto cemento o similares sobre estructuras rígidas.

El constructor debe seguir las recomendaciones específicas del fabricante o proveedor, de manera que se evite la pérdida de garantía de la tubería por incumplimiento de las especificaciones de instalación. Todos los accesorios (acoples, válvulas, etc.) se instalan en las ubicaciones especificadas en el diseño.

Los anclajes son construidos en concreto simple según las especificaciones en el diseño, si estas no son claras se debe realizar en proporción cemento:arena:gravilla lavada 1:3:5 .

G.4.7.2 PROCEDIMIENTO DE INSTALACIÓN Y CONEXIÓN DE TUBERÍAS

Se presenta a manera ilustrativa los procedimientos de uas instalaciones y conexiones de algunos tipos de tuberías comunmente utilizadas, otros tipos de materiales deben instalase según las recomendaciones del fabricante.

G.4.7.2.1 Tubería de acero

1. Manejo y colocación

Durante la instalación de la tubería en la zanja, se debe observar un cuidado similar al tenido durante el cargue, transporte y descargue. Las tuberías revestidas dieléctricamente pueden requerir especialmente un cuidado adicional cuando es manejado a temperaturas inferiores a las recomendadas por el fabricante, o cuando la temperatura de revestimiento es superior a la recomendada por el fabricante.

Se permite rodar la tubería cuando no posee uniones en los extremos o cuando se poseen rieles sobre los cuales se puedan rodar.

Se deben proveer medios especiales para apoyar las tuberías, no deben ser apoyadas sobre madera, montículos de tierra o soportes similares que se encuentren fuera de las especificaciones. Cualquier medio de soporte deben tener el visto bueno del interventor.

2. Ensamblaje

Las tuberías de tamaño superior a 10 mm normalmente son ensambladas en la zanja, excepto en condiciones inusuales. Las tuberías de diámetros más pequeños pueden ser ensambladas en el terreno en longitudes prácticas que permitan ser colocadas dentro de la zanja. Si es utilizado el método de ensamblar la tubería en el terreno y luego bajarla a la zanja, se deben tener cuidado de mantener el grado de curvatura durante esta operación así como no exceder el límite de resistencia del material de la tubería o dañar los materiales de revestimiento. Las deflexiones en las uniones deben ser limitadas a las recomendadas por el fabricante.

Para efectuar el corte de la tubería de hierro se deben utilizar máquinas adecuadas, especialmente cinceles. El plano de corte debe quedar parejo y perpendicular con el eje del tubo. Cuando no se dispone de máquinas cortadoras, se puede efectuar el corte con arco eléctrico empleando una varilla de carbón o de acero.

3. Uniones soldadas

Las uniones con soldadura sólo se permien en casos especiales y únicamente con soldadura de arco. Las soldaduras en campo deben realizarse de acuerdo con los requerimientos técnicos contenidos en la norma AWWA C206 o equivalente.

El interventor puede inspeccionar y probar todas o cualquiera de las soldaduras. En caso de inspección por radiografía mediante rayos X o Gama se deben utilizar las normas API 1104.

Se deben mantener alineadas las líneas centrales de las secciones de las tuberías

Se deben emplear procedimientos adecuados de soldadura así como operarios competentes para asegurar que las uniones soldadas sean tan resistentes como el acero de la tubería

Cuando se ha realizado la unión y éstas son soldadas, se debe aplicar un tratamiento de protección a la unión similar al que se llevó a cabo cuando el tubo fue fabricado.

4. Uniones de campana y espigo

El tendido de la tubería debe proceder disponiendo el extremo de campana de la tubería en la dirección del tendido. Antes de hacer la conexión con el espigo, la campana debe ser limpiada completamente y lubricada de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.

Luego de que el anillo de caucho se ha colocado alrededor de la ranura del espigo, se debe ajustar de manera que la tensión en el caucho sea uniforme alrededor de la circunferencia de la unión. Luego de realizar el ensamblaje, se debe hacer un chequeo de la unión con una lámina calibradora, para comprobar que el anillo de caucho haya quedado bien colocado en la ranura alrededor de la circunferencia.

En los extremos donde la tubería instalada se empata a la red, se deben prever bocas de acceso ("manholes") para facilitar los resanes internos una vez que se haya llevado a cabo dicho empate.

Cuando sea especificado en el diseño, las tuberías deben tener protección catódica, cuyo diseño debe ser realizado por una firma especializada, aprobada por el interventor.

G.4.7.2.2 Tuberías de PVC

La instalación de tuberías de PVC debe realizarse de acuerdo con los requisitos de la norma AWWA C605 o equivalente NTC 3742 y 2785.

El interior de la campana con el anillo de caucho deben estar bien limpios, sin material extraño que pueda interferir con el ensamble adecuado del espigo final de la tubería. Igualmente el espigo debe estar limpio.

Alrededor de toda la circunferencia debe limpiarse con un trapo seco, desde el final del tubo hasta 3 cm después de la marca de referencia.

Se deben inspeccionar el anillo de caucho y la campana y el espigo de la tubería para verificar que no existan daños o deformaciones.

Se debe lubricar el espigo final utilizando únicamente el lubricante recomendado por el fabricante de la tubería. Se debe cerciorar que se cubra toda la circunferencia final con una capa de lubricante equivalente a una de esmalte de borchá. El lubricante se puede aplicar con la mano, con un trapo o una esponja. Luego de la lubricación se puede proceder a realizar la unión.

El espigo se introduce dentro de la campana hasta que haya contacto con el anillo de caucho. Hay que mantener el alineamiento de los tramos de tubería. La campana se debe sujetar bien mientras penetra el espigo de forma tal que las uniones que ya se han efectuado no se cierren. Empujar hasta que la marca de referencia esté a raz de la campana. La tubería se puede ensamblar a mano, o con una barra y un bloque haciendo palanca. Nunca se debe golpear la tubería al instalarla.

Después de la instalación y lo más rápidamente posible se debe efectuar el relleno de las zanjas. Lo anterior protege a la tubería de rocas que caigan a la zanja y elimina la posibilidad de desplazamiento o de flote en caso de inundación. También elimina las posibilidades de erosión en el soporte de la tubería.

A medida que se vaya atracando el tubo debe controlarse tanto el alineamiento como los niveles, con aparatos de precisión.

Se deben seguir las instrucciones del fabricante y lo ordenado por el interventor.

G.4.7.2.3 Tuberías de concreto

Para la instalación de tuberías de concreto deben tenerse en cuenta los siguientes requisitos en forma complementaria a las guías y recomendaciones dadas por los fabricantes respectivos.

Bajo condiciones ordinarias de instalación de tubería de concreto reforzado, el trabajo debe programarse para que el extremo de la campana de la tubería quede en dirección del tendido, es decir, hacia donde el trabajo va a progresar.

En la instalación de tubería de concreto reforzado con cilindro de acero y revestimiento interior y exterior de mortero, donde se presenten curvas y no se requieren accesorios para cambiar la dirección de esta se permitan unas deflexiones máximas por unión indicadas en la Tabla G.4.1

Tabla G.4.1

Deflexiones máximas permisibles en tuberías de concreto reforzado con cilindro de acero

Diámetro interior del tubo	Deflexión máxima
10"	3°37'
12"	3°05'
16"	2°24'
18"	2°07'
20"	1°55'
24"	2°11'
30"	1°46'

Nota : Para otro diámetro puede interpolarse a partir de los valores dados.

En el fondo de las zanjas donde se instala este tipo de tubería, se debe hacer un lecho de grava de 5 cm de espesor debidamente compactado. La grava no puede contener piedras mayores de 2.5 cm de diámetro.

En las tuberías tipo espigo-campana, de concreto reforzado con cilindro donde se encuentren deflexiones mayores de 6°, reducciones, ampliaciones, u otros elementos que generen empuje, los tubos deben tener uniones rígidas antes y después del accesorio, con longitud a lado y lado de de la tubería no menor de lo indicado por la siguiente tabla:

TABLA G.4.2
Longitud mínima (m) a cada lado de la tubería

Presión (PSI)	150	200	250	300
Diámetro	Longitud mínima (m)			
12"	10	10	15	20
16"	15	15	20	25
20"	15	20	25	30
24"	20	20	30	35
30"	20	30	35	45
36"	25	30	40	45

Los empujes también pueden ser absorbidos por anclajes de concreto de acuerdo con las características propias del proyecto. El diseñador podrá escoger la alternativa mas conveniente.

1. Ensamblaje de la unión de la tubería

Se deben excavar siempre cajas apropiadas para alojar todas las campanas de las tuberías y para permitir el espacio necesario para efectuar el relleno con mortero de cemento semifluido de las depresiones de la unión, manteniendo el nivel de la cota de excavación.

Antes de ensamblar las uniones se debe hacer una revisión de los espigos y campanas, con el fin de detectar imperfecciones que no permitan el acople correcto. Para tuberías de diámetros igual o mayor a 610 mm (24 pulgadas) se deben colocar unos espaciadores de metal o de madera contra la parte interior de la campana, dando así espacio necesario para los extremos a unir.

La conexión de los tubos puede hacerse utilizando poleas o gatos. Es importante que la conexión se haga mediante una fuerza axial y que el tubo esté suspendido en el momento de la operación de conexión para que el empalme sea suave sin dañar los sellos, espigos y campanas.

El espigo, la ranura, la campana y el empaque de caucho deben limpiarse completamente. Posteriormente los anillos de caucho y los extremos de los tubos deben lubricarse con jabón vegetal. El lubricante no debe ser derivado del petróleo puesto que su uso puede dañar el empaque de caucho y además su uso no es aceptable para agua potable. El empaque de caucho se debe colocar alrededor de la ranura del espigo en forma tal que quede uniformemente centrado y ajustado.

2. Chequeo del ensamblaje de la unión

El ensamble del espigo con la campana se debe hacer cuidadosamente hasta comprobar por medio de una lámina calibradora que el empaque de caucho quede bien colocado en la ranura alrededor de la circunferencia del tubo. La lámina calibradora tiene aproximadamente 12.7 mm de ancho y 0.25 mm de espesor. Para asegurar una unión adecuada, se debe hacer un chequeo alrededor de toda la circunferencia. Si se encuentra que el empaque de caucho no está en su lugar, la unión debe realizarse de nuevo. En las tuberías grandes, este chequeo se puede hacer más fácilmente desde el interior de la tubería, en tuberías de diámetros menores se puede lograr desde el exterior.

Las depresiones de la unión tanto externa como interna son rellenadas con mortero de cemento. Otros tipos de unión deben chequearse según las instrucciones del fabricante .

3. Protección interna de las uniones

Las superficies expuestas de acero en los anillos de la unión, deben protegerse adecuadamente, con mortero de cemento portland o con cualquier otro tipo de protección adecuada. Para tuberías de diámetros grandes a las cuales se pueda tener acceso, la protección con mortero se puede hacer desde adentro. Antes de aplicar el mortero, el espacio de la unión debe estar limpio y la superficie del concreto debe estar humedecida.

4. Protección externa de la unión

Para colocar el mortero de cemento, en proporción de cemento:arena 1:2, en la depresión externa del tubo se procede de la siguiente manera:

- Para tuberías de hasta 325 mm de diámetro, se debe recubrir con mortero de cemento, en proporción 1 :1.5, de forma tal que al introducirse el espigo se vaya compactando el mortero. Para evitar que éste se derrame por dentro del tubo, se coloca un dispositivo adecuado para que contenga circularmente el material a medida que va penetrando el espigo.
- Para tuberías mayores de 600 mm, el relleno con mortero de la depresión interna de la unión sólo se hace después que se compruebe que el terraplén por encima de la tubería está completamente solidificado, con la densidad de compactación requerida y que la tubería se haya asentado convenientemente. El acabado de mortero se deja enrasado con la superficie interior del tubo. El ancho mínimo de la depresión interna para el relleno de mortero es de 6 mm hasta tuberías de 535 mm de diámetro y de 12 mm para diámetros mayores, pero cuando se deflequen las uniones para formar curvas, este espacio puede variar de la manera siguiente : para tuberías entre 250 mm y 525 mm se permite una desviación de 19 mm sin reducir el espacio normal interior de 6 mm. Para diámetros mayores se permite una desviación de 25 mm reduciendo el espacio interior a 6 mm.

G.4.7.2.4 Tuberías de gres

La instalación de tuberías de gres debe realizarse de acuerdo con los requisitos de la norma ASTM C12.

En las uniones de las tuberías de gres se debe dejar una depresión de grava o recebo de la base, para evitar que se ensucie el empaque de poliuretano.

Cuando se utilicen uniones de poliuretano, el interior de la campana y del espigo debe lubricarse con el lubricante recomendado por el fabricante de las tuberías. La tubería se debe alinear correctamente en la zanja para evitar contacto con las paredes de la misma y daño del empaque.

La conexión de los tubos puede hacerse utilizando palancas o gatos empleando un bloque de madera transversalmente en el extremo de la tubería. Es importante que el tubo esté suspendido en el momento de la operación de conexión para que el empalme sea suave sin dañar los sellos, espigos y campanas. Después de que el empaque esté comprimido se verifica cuidadosamente que cada empaque tenga su posición definitiva en todo el contorno perimetral de la unión.

Cuando el tipo de junta previsto para la tubería sea con mortero, la unión se ejecuta siguiendo las siguientes indicaciones.

La campana debe lavarse cuidadosamente y limpiarse con un cepillo húmedo y cubrirse con una capa de mortero en su mitad inferior. Luego se procede a hacer una excavación superficial por debajo de la junta, para rellenarla con mortero, dentro de la cual deben quedar apoyados los extremos de la tubería adyacente cuando se coloquen.

El espigo del tubo adyacente se coloca en seguida, después de limpiarlo con un cepillo húmedo y cubrir con mortero la periferia de la mitad superior. Este espigo se debe instalar en seguida en la campana del tubo colocado anteriormente, empujándolo hacia adentro hasta que el mortero fluya hacia las superficies interiores y exteriores. La superficie interior del tubo debe alisarse entonces con el cepillo y la superficie exterior de la junta debe rematarse con una capa de mortero que forme una superficie inclinada con pendiente 1:1.

Una vez concluida la instalación de la tubería y siempre que este trabajo cuente con la aprobación del interventor, el constructor debe proceder a colocar y compactar el material de relleno de acuerdo con sus especificaciones y según lo indicado en el diseño.

G.4.7.2.5 Otras tuberías

En términos generales, para el ensamble de las uniones en tuberías de cualquier clase de material, se siguen las normas establecidas en los manuales o guías elaboradas por los fabricantes.

G.4.7.3 INSTALACIÓN DE ACCESORIOS

El constructor debe tener especial cuidado con las partes móviles de los accesorios tales como volantes, y superficies mecanizadas, para evitar un daño irreparable en estos. No se recomienda manipular directamente los accesorios con cables o cadenas de acero. Se deben utilizar manilas, bridas falsas o

fajas flexibles durante el transporte, cargue, descargue e instalación. En el caso de accesorios especiales es necesario el uso de empaques del fabricante ó de cajas de madera, durante su manejo e instalación.

G.4.7.3.1 Instalación de válvulas

Las válvulas se deben colocar en posición vertical y horizontal de acuerdo con el tipo de válvula. Las válvulas no deben quedar inclinadas, excepto en casos muy especiales especificados en el diseño.

Las válvulas se deben operar antes de su instalación de manera que se asegure un funcionamiento adecuado.

Cada válvula se debe proveer de su correspondiente apoyo.

El constructor debe realizar pruebas hidráulicas e hidrostáticas para verificar el correcto funcionamiento de las válvulas a satisfacción del interventor. Estas pruebas se efectúan según lo establecido en el presente Reglamento y teniendo en cuenta las especificaciones y recomendaciones de los fabricantes.

Para el caso de las válvulas de purga los desagües se deben hacer si es posible por gravedad a una zanja o al alcantarillado de aguas lluvias más cercano. Se debe observar que la clave de la tubería del alcantarillado esté a una profundidad lo suficientemente grande del desagüe de la purga para evitar que se rebose y se regrese el líquido. Si la disposición de las aguas no se puede realizar por gravedad, se dispondrá de un pozo de succión para recogerlas y bombearlas.

G.4.7.3.2 Instalación de hidrantes

Se debe comprobar el funcionamiento correcto de cada hidrante previamente a su instalación

Los hidrantes de dos boquillas en ángulo de noventa grados se deben colocar de modo que formen un ángulo de cuarenta y cinco grados con el cordón. Los hidrantes de tres boquillas deben quedar con la boquilla mayor hacia el cordón. El hidrante debe quedar vertical y la altura de las bocas sobre el nivel del piso debe ser de 0.4 metros.

Se debe asegurar la base del hidrante con un anclaje de concreto.

G.4.7.3.3 Accesorios de tuberías

Las especificaciones que rigen para las tuberías se pueden aplicar a los accesorios en cuanto limpieza, colocación y unión.

Las uniones deben quedar bien selladas, de manera que en el momento de hacer las pruebas no presenten fugas.

G.4.7.4 INSTALACIÓN DE TUBERÍA EN PASOS ELEVADOS

En los sitios donde se requiera el paso elevado de la tubería, deben contruirse pilas de concreto o de acero estructural, de acuerdo con lo indicado en los planos. La separación máxima a los ejes de los apoyos no debe ser mayor de 20 metros cuando se trate de tuberías de acero y 10 metros cuando sea de concreto con cilindro de acero. En cualquier caso el diseñador seleccionara la separación máxima entre apoyos considerando el espesor del tubo y las propiedades del material.

El constructor debe instalar la tubería en los pasos aéreos con el equipo más adecuado aprobado por el interventor, respetando las especificaciones de diseño como cotas, alineamientos y pendientes.

G.4.8 TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE TUBERÍAS Y MATERIALES

G.4.8.1 ACARREO

El cargue, transporte y almacenamiento de los elementos para la construcción se debe llevar a cabo con personal idóneo, utilizando dispositivos y vehículos adecuados para disminuir los riesgos de daños a los materiales transportados.

El constructor es responsable por todos los arreglos necesarios para transportar todos los elementos del suministro desde su planta de fabricación hasta los sitios de entrega. Estos arreglos incluyen el cargue y descargue en cualquier sitio de almacenamiento intermedio o punto de transferencia en la ruta de transporte, el cargue y descargue en las bodegas o patios de almacenamiento, el descargue en el sitio de montaje, el almacenamiento, trámites de aduana, seguros para cubrir todos los riesgos desde su planta de fabricación hasta los sitios de entrega y demás trámites y gestiones que sean necesarios para entregar todos los elementos de suministro a satisfacción del ente administrativo.

Se entiende a este respecto que el constructor tiene plenos conocimientos de las facilidades de transporte y de los requisitos exigidos por el Ministerio de Transporte y demás autoridades colombianas competentes, de los cuales debe obtener los permisos correspondientes en caso necesario, para asegurar el puntual cumplimiento del programa de entregas.

Las tuberías, válvulas, accesorios, piezas especiales y demás elementos de suministro cuya fabricación haya sido aprobada por el ente administrativo deben ser cargados, transportados y descargados por cuenta y responsabilidad del constructor desde su planta de fabricación hasta los sitios de entrega.

Los tubos y piezas especiales deben ser cuidadosamente manejados, despachos y almacenados, de manera que no sufran daño en la protección o revestimiento, en las paredes y en los extremos.

Los tubos, válvulas y demás elementos de suministro que resultaren con defecto o daños producidos por causa del almacenamiento o manipulación durante el cargue y transporte deben ser reparados por el constructor y sin ningún costo adicional para el ente administrativo, y sin ampliación en el plazo contractual por este motivo.

Todos los tubos deben ser manejados cuidadosamente para evitar que se dañen o sufran deterioros en sus revestimientos interiores y exteriores. El método de manejo de la tubería, debe ser presentado por el constructor para aprobación por parte del interventor.

El manejo de los tubos debe realizarse con equipos mecánicos de propulsión propia, dotados de fajas de caucho u otros dispositivos aprobados por el interventor con el fin de no dañar el revestimiento o los extremos de estos en el caso de tuberías de acero, hierro dúctil o tubería de concreto con cilindro de acero. El interventor a su criterio puede rechazar los equipos mecánicos de propulsión si estos son inadecuados para las condiciones de operación. Con la debida aprobación del interventor también se pueden utilizar carros sobre carrileras, pórticos con malacates, trípodes u otros accesorios autopropulsados o movidos manualmente. En el caso de tuberías de PVC el manejo de los tubos se debe hacer de acuerdo con las instrucciones del fabricante o proveedor.

Los tubos se deben apoyar en toda su longitud, atracándolos provisionalmente con cuñas de madera revestidas en caucho o con un sistema adecuado previamente aprobado por el interventor.

Los tubos de acero, hierro dúctil o tubería de concreto con cilindro de acero, pueden moverse en sentido longitudinal solamente cuando estén convenientemente apoyados sobre cuñas en madera con caucho, sobre costales con arena o rodillos de caucho cuando estén convenientemente suspendidos mediante fajas, trípodes, pórticos u otros accesorios provistos de ruedas para su movimiento, o cuando estén debidamente soportados sobre carros con ruedas sobre carrileras y asegurados con cuñas de madera revestidas con caucho. Las crucetas de madera, codales o cualquier otro aditamento utilizado para el refuerzo de los tubos sólo pueden ser retirados cuando el tubo esté asentado y se haya asegurado su inmovilidad y se cuente con la aprobación del interventor.

Cuando sea posible, el constructor debe mantener el acodalamiento interior de los tubos en su sitio hasta terminar las operaciones de relleno.

Antes de cualquier manejo se debe verificar que los codales de refuerzo de las extremidades de los tubos estén debidamente colocadas en su sitio.

G.4.8.2 RECIBIMIENTO

En el lugar de entrega, las tuberías, equipos y accesorios deben ser inspeccionados por el constructor y el interventor y en caso dado por un funcionario del ente administrativo. Cualquier elemento que en el

transporte sufra daños, debe ser sustituido por el constructor a su costo y a satisfacción del Interventor, quien puede autorizar la reparación y exigir se realice en su presencia.

Al movilizar los tubos, equipos y demás accesorios, el Constructor debe tener las debidas precauciones para evitar el maltrato y el deterioro de los mismos.

El constructor debe disponer de personal experimentado y en un número suficiente para la movilización, cargue y descargue y demás operaciones de los elementos en el lugar de almacenamiento y por lo tanto todos estos trabajos estarán bajo su exclusiva responsabilidad. El manejo se debe efectuar siempre con equipos de capacidad adecuada. Durante todas las operaciones de transporte y manejo, los elementos se deben asegurar y soportar adecuadamente, para evitar daños ocasionados por la utilización de equipos especiales (monta cargas, poleas, gatos y otros).

En ningún caso se permite descargar tuberías o aditamentos mediante caídas no controladas, por lo cual debe asegurarse la estabilidad de cada elemento en todo momento.

G.4.8.3 ALMACENAMIENTO

Para el transporte dentro de la obra deben usarse camiones, gruas u otros equipos o dispositivos convenientes, evitando arrastrar o rodar los elementos a grandes distancias.

Para el almacenamientos de todos los elementos se deben tener en cuenta las instrucciones y recomendaciones del fabricante o proveedor.

El apilamiento durante almacenamiento debe realizarse de acuerdo con las prácticas normales de seguridad. El constructor debe suministrar travesaños, espaciadores y calzos adecuados para prevenir daños al tubo o al revestimiento durante el transporte y almacenamiento.

Con el fin de evitar acumulación de los tubos y accesorios a lo largo de la línea, el constructor debe adelantar la instalación de las mismas en forma coordinada con el programa de entregas.

Cuando el ente administrativo suministre las tuberías, la solicitud de entrega del suministro debe hacerse por escrito con 72 horas de anticipación a la fecha prevista de instalación.

No se permite bajo ningún motivo que permanezcan en el área contigua al frente de los trabajos, antes de ser bajados a la zanja, un número mayor de tubos que los correspondientes a la capacidad/día que tiene el constructor de bajarlos a la zanja, ni más de cien metros de tubería por instalar.

G.4.8.3.1 Recomendaciones para tubería de acero

El constructor debe seguir las recomendaciones específicas del fabricante o proveedor, de modo que se evite la pérdida de garantía de la tubería por incumplimiento en las especificaciones de manejo y almacenamiento. Por regla general, la tubería de acero debe manejarse y almacenarse en forma tal que se evite el daño a cualquier recubrimiento o tratamiento de superficie de la tubería.

La tubería de acero debe ser apilada sobre apoyos o soportes de madera u otro material análogo, de tal suerte que se garantice la estabilidad de la base de la pila así como la integridad del material de los tubos. Esto último se logra colocando los apoyos a una distancia máxima prevista por el proveedor y que depende del tipo de tubería de acero en cuestión.

Todo el manejo de tubería de acero debe realizarse evitando el roce, los choques, impactos y efectos que puedan deteriorar su recubrimiento. En el caso de tuberías de peso suficiente para requerir manejo no manual, ésta debe manejarse, transportarse e izarse con equipos que sostengan los tramos de tubería mediante de correas debidamente aprobadas por el fabricante o proveedor.

Todos los extremos, accesorios y el interior de la tubería de acero deben estar protegidos del mugre y objetos extraños, para asegurar su correcta instalación y posterior funcionamiento según el diseño.

G.4.8.3.2 Recomendaciones para tubería de PVC

El constructor debe seguir las recomendaciones específicas del fabricante o proveedor, de tal suerte que se evite la pérdida de garantía de la tubería por incumplimiento de las especificaciones de manejo y almacenamiento. Por regla general, la tubería de PVC debe almacenarse en forma tal que si se apila los

esfuerzos sobre los tubos inferiores de la pila estén dentro del rango permisible. Esto implica una altura máxima de apilamiento dictada por la resistencia de los tubos y especificada por el fabricante o proveedor. Especial cuidado debe tenerse en general con los extremos de la tubería puesto que una deformación del extremo inutiliza todo el tramo. Esta debilidad particular de la tubería de PVC implica modalidades de manejo y apilamiento específicas para proteger los extremos, las cuales están dadas normalmente por el fabricante o proveedor.

La tubería de PVC debe ser apilada sobre apoyos o soportes de madera u otro material análogo, de tal suerte que se garantice la estabilidad de la base de la pila así como la integridad del material de los tubos. Esto último se logra colocando los apoyos a una distancia máxima prevista por el proveedor y que depende del tipo de tubería de PVC en cuestión.

La tubería de PVC es susceptible de daño si se almacena cerca de fuentes de calor tales como calderas, líneas de vapor, exhostos de motores, etc. Especial cuidado debe tenerse de almacenar la tubería de PVC a distancias que garanticen una temperatura máxima muy por debajo de los límites fijados por el fabricante o proveedor. Igualmente, si la tubería va almacenarse en condiciones de exposición a la luz solar (más de seis meses, o el período máximo recomendado por el proveedor), debe protegerse debidamente colocándola a la sombra y con adecuada ventilación por encima y alrededor de los tubos. En ningún caso se permite el almacenamiento de tubos de PVC a la interperie o en condiciones de exposición a la luz solar.

Todos los extremos, accesorios y el interior de la tubería de PVC deben estar protegidos del mugre y objetos extraños, para asegurar su correcta instalación y posterior funcionamiento según el diseño.

G.4.8.3.3 Recomendaciones para tubería de concreto y gres

El constructor debe seguir las recomendaciones específicas del fabricante o proveedor, de manera que se evite la pérdida de garantía de la tubería por incumplimiento de las especificaciones de manejo y almacenamiento. Por regla general, la tubería de concreto o gres se almacena a lo largo de la zanja donde es colocada, teniendo gran precaución de evitar choques o golpes durante su manejo, y procurando no rodarla ni arrastrarla como mecanismo de desplazamiento sino utilizando equipo adecuado de izaje, transporte y descarga según lo recomendado por el proveedor y lo aprobado por el interventor.

En el caso que se necesite el apilamiento de tubería de concreto o gres para su almacenamiento, debe contactarse al fabricante o proveedor previamente al arribo de la tubería para solicitar las especificaciones de apilamiento (apoyos, distancia entre apoyos, máxima altura de apilamiento, etc.) recomendadas. El constructor debe seguir estas recomendaciones. Cualquier variación requiere la aprobación del interventor y el visto bueno del fabricante o proveedor.

Todos los extremos, accesorios y el interior de la tubería de concreto o gres deben estar protegidos del mugre y objetos extraños, para asegurar su correcta instalación y posterior funcionamiento según el diseño.

G.4.8.4 REPARACIÓN DE TUBERÍAS

Cuando sea necesario hacer reparaciones a los tubos que fueron afectados durante el transporte y manejo, el constructor debe efectuar dichas reparaciones siguiendo las instrucciones del fabricante o empleando el método que se presenta a continuación. Las reparaciones deben ser efectuadas preferiblemente en la planta de almacenamiento de la tubería y todo el proceso debe someterse a la aprobación del interventor.

G.4.9 PRUEBAS

Para efectos de pruebas hidrostáticas, de estanqueidad y de resistencia debe consultarse el Título correspondiente del presente Reglamento.

G.4.10 SEÑALIZACIÓN Y SEGURIDAD DURANTE LA CONSTRUCCIÓN

G.4.10.1 ALCANCE

El objetivo del presente literal es el de generar guías para la organización de la obra y para minimizar el impacto que puede ocasionar la ejecución de obras sobre el tráfico peatonal y el tráfico vehicular. Se prevee que las obras a realizarse en los **Niveles de Complejidad Alto y Medio Alto del Sistema** son particularmente críticas en este aspecto debido al volumen de tráfico peatonal y vehicular que caracterizan a estos niveles. Sin embargo debe tenerse en cuenta que aún en proyectos de **Niveles de Complejidad Medio o Bajo del Sistema** puede haber gran impacto al tráfico peatonal y vehicular si el proyecto obstaculiza una vía de importancia.

Es de gran importancia para todo proyecto minimizar el impacto que tiene sobre su medio ambiente. Una de las principales actividades de toda población humana -parte integral del medio ambiente- es la de transporte tanto peatonal como vehicular. Este transporte, aunque sufre variaciones estacionales y durante el día; es permanente. Por lo tanto el adecuado manejo del transporte peatonal y vehicular afectado por el proyecto debe tenerse muy en cuenta tanto en la etapa de planeación como en la ejecución y control del mismo.

G.4.10.2 ROTULADO DE LOS SISTEMAS DE TUBERÍAS Y ACCESORIOS

G.4.10.2.1 Colores de seguridad

Los colores de seguridad deben ser los siguientes:

- Rojo para la extinción del fuego.
- Amarillo como advertencia.

Los colores y las señales de seguridad deben cumplir además con lo establecido en la norma NTC 1461.

G.4.10.2.2 Dirección de flujo

Cuando se requiera mostrar la dirección del flujo, ésta debe indicarse mediante una flecha situada en la proximidad del color de identificación y pintada en blanco o negro con el propósito de contrastar con el color de identificación.

Para sistemas de calefacción y otros circuitos cerrados es necesario indicar, separadamente, el flujo y los tubos de retorno; ésto se debe realizar con el uso de la palabra "Flujo" o la letra "F" sobre un tubo y la palabra "Retorno" o la letra "R", en el otro.

G.4.10.2.3 Precauciones

Todas las formas de identificación deben ser compatibles con el material del tubo y con las condiciones de operación.

Cuando se adopte la identificación mediante bandas, el color protector o decorativo del tubo no debe ser ninguno de los colores de identificación.

La identificación básica se debe incluir en las uniones, a ambos lados de cada válvula, en cada dispositivo de servicio, en los muros de contención y de penetración, y en cualquier otro lugar donde ésta sea necesaria para una rápida y fácil identificación.

Si la tubería se ha codificado con el color de seguridad para la extinción del fuego, las válvulas se deben pintar de rojo, por ejemplo en tuberías con vapor o agua para extinción o con agua inundante.

En otros casos, las válvulas se deben pintar con los colores de identificación pertinentes.

El tamaño de los caracteres lo establece la norma NTC 3458.

G.4.10.3 PROTECCIÓN DE LA ZONA DE TRABAJO

Para efectos del presente literal, se entiende como zona de trabajo el lugar donde se ejecutan obras de construcción o mantenimiento, los cuales interfieren con el tránsito normal de los vehículos y personas.

El objetivo fundamental de un sistema de protección de una zona de trabajo, es separar los sitios de trabajo y de tránsito, lo cual se logra prestando atención a tres aspectos fundamentales:

- Advertir las condiciones de vehículos, peatones y trabajadores.
- Guiar el movimiento de vehículos y personas hacia rutas seguras.
- Proteger a los que trabajan y a los que transitan por el lugar.

Una buena regla empírica para colocar la señal inicial antes del área de trabajo consiste en que cuanto más lejos se inicie la señalización, mejor es la protección.

Al llegar al sitio de la obra, el responsable por el trabajo debe:

- Estacionar los vehículos en un lugar seguro.
- Estudiar la zona de trabajo y planear la distribución del equipo de protección, teniendo en cuenta los siguientes factores:
 - a) Si es una vía rural o urbana.
 - b) La velocidad y movimiento de vehículos y personas.
 - c) Si el camino es plano o en cuesta, recto o curvo.
 - d) Si el trabajo se realiza en una intersección o confluencia de tránsito.
 - e) Si tiene bordillos o cunetas pronunciadas.
 - f) Visibilidad o condiciones del tiempo.
 - g) La hora.
 - h) Duración aproximada del trabajo.

Antes de iniciar un trabajo en la vía o en sus cercanías debe establecerse un plan que incluya las siguientes condiciones:

- Selección y ubicación correcta de las señales y protecciones que deben usarse.
- Una inspección del área protegida para cerciorarse si se tiene la máxima protección.

Si la obra así lo exige, debe obtenerse la autorización y aprobación del plan por parte de las entidades competentes. El incumplimiento a estas autorizaciones corren por cuenta y riesgo del responsable de la ejecución de los trabajos.

La técnica y eficiencia de la protección de la zona de trabajo radican en la forma como se dispongan y se empleen los diferentes tipos de señalización antes descritos.

En los trabajos de mayor duración se debe hacer una inspección previa al lugar o sector para planear y definir el tipo de señalización y protección requeridos.

Para estos casos es necesario llevar a cabo una planeación y análisis técnico de la disposición y tipo de señales y protección que en cada caso se les deba dar a la obra, teniendo en cuenta todas las variables descritas anteriormente y las normas legales vigentes.

Cuando el trabajo se realiza sobre una intersección, se debe dar mayor protección, colocando señales en las vías adyacentes.

En trabajos de corta duración se deben emplear las señales portátiles dispuestas en forma individual o combinadas, en la cantidad exigida para cada sitio o lugar.

Especialmente en zonas elevado tráfico se debe colocar la barrera tipo cerca de cuatro (4) cuerpos y todas las demás señales que las circunstancias exijan.

G.4.10.4 NORMAS BÁSICAS DE SEGURIDAD

G.4.10.4.1 Generalidades

La protección requerida para cada situación debe estar basada en la velocidad, volúmenes de tránsito, duración de las operaciones y grado de los riesgos.

La ubicación de las señales debe hacerse en forma tal que sean fácilmente visibles y no interfieran el tránsito continuo de los vehículos ni la visibilidad.

Las calles angostas con carriles en dos direcciones, necesitan señales en ambos extremos de la zona de trabajo para poner en alerta a los conductores y ayudarlos a pasar con seguridad.

Hay que recordarle a los trabajadores que deben ubicarse dentro de la zona protegida. De ser posible, los escombros se deben colocar en la parte más protegida.

Los equipos y materiales sobre la vía son colocados de manera que no constituyan riesgo.

Se debe evitar que otros vehículos se detengan o estacionen en el lugar opuesto a la zona de trabajo. Debe considerarse el uso de letreros "Prohibido estacionarse" o barricadas para mantener despejada la zona de trabajo.

De ser necesario, debe modificarse la protección de acuerdo con el progreso de la obra. A la terminación del trabajo debe asignarse a un abanderado para que dé las instrucciones necesarias según se vayan quitando los equipos de protección.

Las señales que exijan visibilidad durante las horas de la noche o circunstancias especiales, deben ser reflectivas o estar convenientemente iluminadas.

De ser factible, además de las señalizaciones disponibles, puede colocarse el camión de trabajo entre la corriente de tránsito y la zona de trabajo. Las luces de emergencia de los camiones proveen protección extra.

Si se deja el trabajo sin terminar para el día siguiente, deben colocarse luces a intervalos apropiados. Las luces de llama abierta no deben colocarse adyacentes a las zonas donde haya gases o líquidos inflamables.

Sobre las zanjas que crucen el acceso a parqueaderos, garajes o sitios por donde transiten vehículos, se deben colocar planchas de acero suficientemente resistentes y debidamente ancladas para no interrumpir el tráfico.

Sobre las zanjas que interrumpan el paso a peatones, se deben colocar planchas de acero o plataformas de madera de ancho y resistencia necesarias y provistas de pasamanos.

Algunas operaciones pueden requerir el permiso o la ayuda de las autoridades municipales. En todos los casos, se deben cumplir las leyes y reglamentos vigentes.

Todas las señales deben permanecer en su posición correcta, limpias y legibles durante el tiempo de su utilización. Cuando por acción de agentes externos se deterioren éstas deben repararse o reemplazarse.

G.4.10.4.2 Señales preventivas

Como su nombre lo indica son señales de preadvertencia, generalmente usadas en trabajos de mayor duración y tienen por objetivo advertir al usuario de la existencia de una condición peligrosa y la naturaleza

de ésta. Especial cuidado debe tenerse en cuanto a su ubicación y distancia para que cumpla su objetivo real, de acuerdo con las instrucciones dadas en este literal.

La señal debe conformarse en un cuadrado en lámina de un calibre 20 de 0.6 ó 0.9 m de lado, colocado con una diagonal en sentido vertical. Fondo amarillo reflectivo, símbolo, letras y recuadros negros.

El tamaño y ancho de la orla y de los símbolos deben estar de acuerdo con las dimensiones especificadas en los respectivos esquemas.

La señal debe montarse sobre una torrecilla o soporte metálico, formando una cruz en la parte superior donde va asegurado el cuadrado.

- La señal "VÍA EN CONSTRUCCION" se emplea para alertar la aproximación a un tramo de calle o de carretera que se encuentra en construcción, reconstrucción o conservación. Tiene un letrero "VÍA EN CONSTRUCCION", seguida de la indicación de la distancia en metros a que se encuentra la obra dentro de la vía.
- La señal "VÍA CERRADA" se emplea para indicar la aproximación a un tramo de calle o de carrera en la cual no se permite la circulación de vehículo, mientras duran los trabajos de construcción, reconstrucción, conservación, rotura o instalaciones y mantenimiento de equipos y redes de servicios públicos. Tiene un letrero "VÍA CERRADA", seguida de la indicación de la distancia en metros a que se encuentra interrumpida la vía.
- La señal "TRABAJOS EN LA VÍA" se emplea para advertir al conductor o al peatón que en la calle, carretera o andén, hay personas trabajando. Lleva un letrero "TRABAJOS EN LA VÍA", seguido de la indicación de la distancia en metros a que se encuentra la obra.
- La señal "PELIGRO NO ESPECIFICADO" advierte peligros como obstáculos, derrumbes, undimientos y otros deterioros de la vía. Tiene el letrero "PELIGRO".

Otras señales preventivas tales como curva peligrosa, desvío, curva pronunciada, las cuales se representan con una flecha indicando la dirección, deben colocarse según su necesidad.

G.4.10.4.3 Señales reglamentarias

Indican al usuario de la vía las limitaciones, prohibiciones o restricciones sobre calles y carreteras en construcción, reconstrucción y conservación o en las que se realizan trabajos en redes de energía, teléfono, acueducto y alcantarillado y son de estricto cumplimiento.

La señal debe ser circular de 0.6 ó 0.9 m de diámetro, en lámina de calibre 20. Fondo blanco, símbolo y letras en negro, orla de color rojo reflectivo de 6 cm de ancho.

Las señales que indican prohibición tienen un trazo oblicuo descendente a 45 grados con la horizontal de izquierda a derecha, desde el punto de vista del observador, de color rojo reflectivo, de 6 cm de ancho.

Estas señales deben colocarse en el mismo sitio donde deba cumplirse la orden respectiva, teniendo buen cuidado de estudiar bien su colocación con el propósito que el conductor pueda entender claramente el significado, y colocadas a una distancia suficiente que pueda prevenir eficazmente el peligro.

Esta señal debe montarse sobre una torrecilla similar a las señales anteriores.

Para los fines del presente literal, las señales más usuales son:

- "VÍA CERRADA" se emplea para indicar tal condición en calles y carreteras, con el letrero "vía cerrada", con su respectivo trazo único.
- "DESVÍO" se emplea para indicar la desviación que debe ejecutar el tránsito antes de una vía cerrada. Debe llevar la palabra "DESVÍO" y una flecha indicando el sentido de la desviación.

G.4.10.4.4 Señales informativas

Sirve para identificar las vías y guiar al usuario, proporcionándole información que pueda necesitar. En las vías en construcción las señales informativas más usuales son:

- “PROXIMIDAD A VÍA EN CONSTRUCCIÓN, FIN DE LA VÍA EN CONSTRUCCIÓN” son rectangulares, con la mayor dimensión en posición horizontal. La dimensión del rectángulo va de acuerdo con el mensaje. Fondo verde y letras blancas reflectivas. Igual que las anteriores, esta señal se construye en lámina calibre 20 montada sobre la torrecilla.

G.4.10.4.5 Señales luminosas

Las señales luminosas deben utilizarse en vías de alta velocidad, colocando gargantillas de luces rojas que cumplan con las siguientes condiciones:

- Las gargantillas están compuestas por bombillos de color rojo, dispuestos al menos cada 35 cm y tendrán una potencia máxima de 60 W y voltaje de 110 V.
- Deben instalarse en sentido transversal a la vía y colocadas a una altura mínima de 5.5 m de altura.
- La instalación está construída en cable duplex y todo sus puntos de conexión y derivación deben aislarse adecuadamente con suficiente cinta de plástico.

CAPÍTULO G.5

G.5. INSTALACIONES MECÁNICAS Y ELÉCTRICAS

G.5.1 ALCANCE

El propósito de este capítulo es fijar los criterios básicos y requisitos mínimos que deben cumplir las diferentes instalaciones mecánicas y eléctricas correspondientes a los sistemas de agua potable y saneamiento básico que se desarrollen en la República de Colombia.

El presente capítulo incluye las siguientes actividades que forman parte de las instalaciones mecánicas y eléctricas:

- Instalaciones Mecánicas
- Instalaciones Eléctricas

Todas las actividades comprendidas en instalaciones mecánicas y eléctricas deben aplicarse para todos los **Niveles de Complejidad del Sistema**.

G.5.1.1 INSTALACIONES MECÁNICAS

Para efectos de este literal se recomienda referirse a la ASME: American Society of Mechanical Engineers que establece los criterios básicos que normatizan las instalaciones mecánicas.

G.5.1.2 INSTALACIONES ELÉCTRICAS

Para efectos de este literal se recomienda referirse a la norma NTC 2050 Código Eléctrico Nacional que establece los criterios básicos que normatizan las instalaciones eléctricas.

CAPÍTULO G.6

G.6. VULNERABILIDAD Y REDUCCIÓN DE RIESGOS

G.6.1 GENERALIDADES

Los sistemas de agua potable y saneamiento básico están sometidos durante su vida útil a la posible acción de eventos extraordinarios de origen natural o antrópico que pueden causar daños y pérdida de su función u operación. Dependiendo del **Nivel de Complejidad del Sistema** definido en el Título A del presente Reglamento se debe realizar un análisis de su vulnerabilidad ante los posibles eventos identificados, diseñar planes de contingencia para atender las emergencias por la falta del servicio y para su recuperación tan pronto como sea posible, y se debe realizar la intervención de la vulnerabilidad para la reducción de los riesgos en general de todos los sistemas de agua potable y saneamiento básico cubiertos por el alcance del presente Reglamento, que estén en proyecto o en funcionamiento.

G.6.1.1 ALCANCE

El propósito de este capítulo es fijar los criterios básicos y requisitos mínimos referentes a vulnerabilidad y reducción de riesgos que deben reunir los proyectos y sistemas relacionados con agua potable y saneamiento básico que se desarrollen en la República de Colombia, con el fin de garantizar su seguridad, durabilidad, funcionalidad, calidad, eficiencia, sostenibilidad y redundancia dentro de un **Nivel de Complejidad** determinado.

Se presentan a continuación los criterios que deben seguirse para realizar los análisis de vulnerabilidad, los planes de contingencia y las medidas de reducción de riesgos en los sistemas de agua potable y saneamiento básico, con el fin de incluir aspectos de prevención de desastres y atención de emergencias en el diseño, planeamiento y mantenimiento de los sistemas. En la Tabla G.7.1 se presentan los requisitos de vulnerabilidad, planes de contingencia, e implementación de medidas de reducción de riesgos para diferentes niveles de complejidad del sistema.

TABLA G.7.1
Vulnerabilidad y reducción de riesgos según el Nivel de Complejidad del Sistema

TIPO DE ACCIÓN	NIVEL DE COMPLEJIDAD DEL SISTEMA			
	BAJO	MEDIO	MEDIO ALTO	ALTO
Análisis de Vulnerabilidad del Sistema Existente (G.7.2)	Recomendado	Recomendado	Obligatorio	Obligatorio
Plan de contingencias (G.7.3)	Plan General	Plan General	Plan Detallado	Plan Detallado
Medidas de Reducción de Riesgos (G.7.4)				
Redundancia de Sistemas	Recomendado	Recomendado	Obligatorio	Obligatorio
Materiales y Conexiones Especiales			Obligatorio	Obligatorio
Dispositivos Especiales		Recomendado	Recomendado	Recomendado

G.6.2 ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD

G.6.2.1 CONCEPTUALIZACIÓN

El análisis de vulnerabilidad corresponde al proceso mediante el cual se determina el nivel de exposición, la predisposición al daño o la potencial pérdida de función de un elemento o grupo de elementos de un sistema, teniendo en cuenta las amenazas del entorno. El análisis de vulnerabilidad es la base para la realización del plan de contingencias y la definición de las medidas de reducción de riesgos para mejorar el nivel de seguridad y confiabilidad del sistema.

G.6.2.2 TIPOS DE VULNERABILIDAD

La vulnerabilidad de un sistema puede ser:

a) Vulnerabilidad física. Relacionada con la fragilidad estructural, la baja resistencia y/o la poca capacidad de absorción de las sollicitaciones externas generadas por la acción de eventos de origen natural o antrópico, que pueden afectar un componente o un grupo de componentes del sistema.

b) Vulnerabilidad funcional. Relacionada con la falta de redundancia del sistema o la probabilidad de la pérdida total o parcial del funcionamiento o de la operación del sistema, por la acción de eventos naturales o antrópicos, debido a la interdependencia de sus componentes.

G.6.2.3 ESTIMACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

Para estimar la vulnerabilidad de un sistema o componente se deben seguir los siguientes pasos:

a) **Identificación y evaluación de amenazas.** Proceso mediante el cual se estima la severidad y la recurrencia de los fenómenos potencialmente peligrosos para el sistema durante un tiempo de exposición específico. Las principales amenazas a tener en cuenta para los sistemas de agua potable y saneamiento básico son las siguientes:

1. Deslizamientos y subsidencias
2. Flujos de escombros
3. Inundaciones y avalanchas
4. Actividad sísmica
5. Licuación de suelos por sismo

6. Impacto de olas tsunamigénicas
7. Productos volcánicos
8. Huracanes o tormentas.
9. Sequías o déficits hídricos
10. Explosiones e incendios.
11. Derrames de contaminantes.
12. Problemas de orden público.

- b) **Identificación de componentes del sistema.** Proceso de clasificación y descripción de las partes discretas del sistema capaces de operar independientemente que pueden ser afectadas por la acción de cada amenaza natural o antrópica identificada.
- c) **Estimación del potencial de daños.** Se debe analizar la susceptibilidad de cada uno de los componentes del sistema a sufrir daños ante cada amenaza identificada, con el fin de determinar su participación relativa en la pérdida potencial del grado de seguridad y confiabilidad del funcionamiento del sistema.
- d) **Categorización.** De acuerdo con la frecuencia y severidad de los daños potenciales estimados y de las consecuencias que pueden significar para el sistema y la prestación del servicio, se categoriza la vulnerabilidad de cada componente y del sistema ante las diferentes amenazas existentes.

G.6.3 PLAN DE CONTINGENCIAS

G.6.3.1 CONCEPTUALIZACIÓN

El plan de contingencias es el conjunto de procedimientos preestablecidos para la respuesta inmediata, con el fin de atender en forma efectiva y eficiente las necesidades del servicio de manera alternativa y para restablecer paulatinamente el funcionamiento del sistema después de la ocurrencia de un evento de origen natural o antrópico que ha causado efectos adversos al sistema.

Los objetivos específicos del plan de contingencias son:

- Definir funciones y responsabilidades.
- Planificar y coordinar las actividades de atención y recuperación.
- Activar procedimientos preestablecidos de respuesta para atender la demanda.
- Identificar el inventario de recursos disponibles.
- Informar en forma precisa y oportuna.
- Recobrar la normalidad tan pronto como sea posible.
- Programar ejercicios de simulación para la capacitación y revisión periódica.

G.6.3.2 ESTIMACIÓN DE ESCENARIOS DE RIESGO

Todo plan de contingencias se debe basar en los potenciales escenarios de riesgo del sistema que deben obtenerse del análisis de vulnerabilidad realizado de acuerdo con las amenazas que pueden afectarlo gravemente durante su vida útil. El plan de contingencia debe incluir procedimientos generales de atención de emergencias y procedimientos específicos para cada escenario de riesgo identificado.

G.6.3.3 ATENCIÓN DE EMERGENCIAS

El plan de contingencias debe elaborarse considerando procedimientos que permitan cumplir con los siguientes propósitos:

1. **Suministrar alternativamente el servicio.** Tan pronto como sea posible se debe atender a la población perjudicada por la interrupción del servicio, mediante acciones alternativas que disminuyan el impacto y suministren parcialmente el servicio mientras se recupera el funcionamiento normal del sistema.
2. **Restablecer el funcionamiento del sistema.** Se debe prever la manera como se rehabilitará el sistema tan pronto como sea posible para continuar prestando el servicio en forma normal y continua.

G.6.4 MEDIDAS DE REDUCCIÓN DE RIESGOS

De acuerdo con el análisis de vulnerabilidad se debe establecer un plan de medidas de intervención que permitan la reducción de riesgos del sistema. La identificación de puntos críticos de vulnerabilidad permite la priorización de acciones de intervención en el proceso de mantenimiento que pueden reducir el potencial de daños o la pérdida de la funcionalidad del sistema. Las principales medidas de intervención a tener en cuenta son:

1. **Aumentar la redundancia.** Evitar la dependencia a un sólo componente o grupo de componentes que en caso de sufrir daños pueda reducir sensiblemente la capacidad de atención de la demanda del servicio. Para tal efecto deben establecerse índices o indicadores para calificar el grado de redundancia de los diferentes componentes o del sistema mismo, de acuerdo con el cual pueden identificarse las partes críticas del sistema y priorizarse las medidas y obras necesarias para aumentar la redundancia y minimizar la vulnerabilidad.
2. **Uso de materiales dúctiles y conexiones flexibles.** Evitar la utilización de materiales frágiles y rígidos poco resistentes, con el fin de reducir el riesgo de rotura ante diferentes amenazas cuya acción puede dislocar o desacoplar parcial o totalmente componentes importantes del sistema.
3. **Uso de dispositivos especiales.** En el caso de redes se debe incentivar el uso de dispositivos especiales que hallan demostrado sus beneficios tales como válvulas de cierre automáticas que proveen mecanismos de aislamiento automático de partes de la red y que permiten la utilización parcial del sistema sin agravar daños colaterales, o el uso de conexiones especiales que permitan el movimiento relativo entre partes del sistema sin ocasionar, daños o fugas.

ANEXO G.1

TUBERIAS DE ACERO

1. Alcance y usos

Las tuberías de acero para sistemas de acueductos que cumplen con los requisitos de las normas que se establecen en este literal pueden utilizarse para los usos que se especifican a continuación : acueductos, líneas de suministro de agua, pozos principales de transmisión, pozos principales de distribución, conductos forzados, tuberías en plantas de tratamiento, luces auto-soportadas, líneas de circulación de agua, cruces, tomas y salidas subterráneos y aplicaciones similares.

Los usos diferentes a los mencionados o que impliquen situaciones y/o exigencias especiales de la tubería deben someterse a un estudio detallado por parte de un ingeniero civil y su uso debe justificarse mediante mediciones y/o datos de laboratorio que sustenten la aplicabilidad de la tubería al caso especial de aplicación.

2. Tipos de acero permitidos

Para tuberías en acero estructural se permite la utilización de los siguientes aceros (Tabla G-1.1): para tubos fabricados de acero ASTM A 36, ASTM A 283 Grados C, D, ASTM A 570 Grados 30, 33, 36, 40, 45 y 50, ASTM A 572 Grados 42, 50 y 60. Para tubos manufacturados de acero ASTM A 53, ASTM A 135 y ASTM A 139 en Grados A, B, C, D, E.

TABLA G-1.1
Tipos de acero permitidos

Especificaciones de Acero	Esfuerzo de Fluencia mínimo		Esfuerzo a la tensión última mínima	
	(Mpa)	(Psi)	(Mpa)	(Psi)
ASTM A 36	249	36000	401	58000
ASTM A 283 GR C	207	30000	380	55000
	228	33000	415	60000
ASTM A 570 GR 30 GR 33 GR 36 GR 40 GR 45 GR 50	207	30000	339	49000
	228	33000	359	52000
	249	36000	366	53000
	276	40000	380	55000
	311	45000	415	60000
	345	50000	449	65000
ASTM A 572 GR 42 GR 50 GR 60	290	42000	415	60000
	345	50000	449	65000
	415	60000	518	75000
ASTM A 53, A 135, A139 GR A GR B	207	30000	332	48000
	242	35000	415	60000
ASTM A 139 GR C GR D GR E	290	42000	415	60000
	318	46000	415	60000
	359	52000	456	60000

3. Ensayos de control de calidad

En toda tubería de acero deben realizarse los ensayos de control de calidad establecidos en la Tabla G-1.2.

TABLA G-1.2
Ensayos de control de calidad

PROPIEDAD	MÉTODOS DE ENSAYO	PROPIEDADES REQUERIDAS
Propiedades Químicas	ASTM A 751	
Propiedades Físicas	ASTM A 370	AWWA C200
Prueba hidrostática de tubo recto	AWWA C200	
Propiedades dimensionales	Diámetro longitudinal, espesor de pared, rectitud, sección circular	Según especificación correspondiente

Las propiedades que deben controlarse en los materiales utilizados en la fabricación de las tuberías son la resistencia a la flexión, la ductilidad y la rigidez dada por el Módulo de Young.

En el diseño el ingeniero debe considerar efectos que puedan modificar o alterar cualquiera de las propiedades anteriores tales como efectos del trabajo en frío, fractura frágil producida por la presencia de esfuerzos de corte, discontinuidades geométricas, velocidades de deformación, cargas de impacto, endurecimiento por deformación, esfuerzos residuales cuando éstos están presentes, soldadura, o temperatura a la que está sometida la tubería.

4. Determinación del espesor de la pared de la tubería

Los requisitos básicos de diseño que deben cumplir las tuberías de acero que hagan parte de cualquiera de los sistemas de acueducto son los siguientes.

A. Presión interna

Corresponde a la máxima presión interna a la que estará sometida la tubería durante su vida útil y que resulta directamente del diseño hidráulico y de la sobrepresión máxima que puede llegar a generarse por efectos de cargas transientes en el sistema. El diseñador hidráulico debe especificar la presión interna máxima de diseño. (Ver Título B).

El espesor de la pared de la tubería no puede ser menor que el que resulta de la siguiente fórmula general :

$$t = \frac{p_{max} D_e}{2s_a} \quad (\text{G-1.1})$$

B. Esfuerzos admisibles

Para el caso de tuberías de acero estructural debe utilizarse el esfuerzo admisible especificado por la siguiente fórmula :

$$s_a = 0.5f_y \quad (\text{G-1.2})$$

Para tuberías que cumplan con los requisitos establecidos en el presente capítulo se permite un incremento en el esfuerzo anular admisible hasta 0.75 f_y para el análisis ante cargas transientes.

Cuando se utilicen esfuerzos últimos para el diseño, debe considerarse un factor de seguridad mayor o igual que 2.0.

C. Tolerancia

La tolerancia del espesor de la pared es especificada por el fabricante. Los efectos de tolerancia están aplicados al espesor de la pared nominal de la tubería, excepto en condiciones extremas con líneas de alta presión en donde se debe realizar un análisis de la tolerancia del espesor de la pared.

D. Corrosión

El diseñador debe considerar los efectos de la corrosión de la tubería de acero en el largo plazo. Para esto puede considerar un sobreespesor de la pared del tubo. En ningún caso el sobreespesor adicional por consideraciones de corrosión puede ser menor que 1.6 mm (1/16 pulg).

Alternativamente, puede utilizarse el espesor de tubería resultante del cálculo de cargas sobrepuestas y considerar alternativas de protección contra la corrosión como son recubrimientos especiales, revestimientos o protección catódica. El diseñador debe especificar claramente tanto en las memorias de cálculo como en los planos de construcción las consideraciones utilizadas en el diseño referentes a la corrosión esperada. El constructor puede modificar las consideraciones de corrosión realizadas siempre y cuando estas modificaciones sean sustentadas por un ingeniero, y queden documentadas y sean aprobadas por el interventor.

5. Presión externa de fluidos

Las presiones externas que deben considerarse en el diseño corresponden generalmente a presiones atmosféricas o presiones hidrostáticas que en general pueden considerarse como uniformes y actuando en forma radial sobre la tubería a manera de fuerzas colapsantes. Los tubos de longitud suficiente, mayor que la longitud crítica, pueden considerarse como una tubería infinitamente larga y como tal, la presión de colapso es independiente de aumentos adicionales de la longitud. En estos casos puede utilizarse el siguiente valor de presión de colapso, P_c :

$$\text{Para } L_1 > L_c \quad P_c = \frac{2E_a}{1-\nu^2} \left(\frac{t}{d_n} \right)^2 \quad \text{(G-1.3)}$$

L_c puede tomarse como seis veces el diámetro y respecto a d_n para tubos delgados la diferencia entre el diámetro interno, externo y eje neutro es despreciable.

6. Espesores mínimos de pared

El espesor mínimo de pared para tubería de acero debe determinarse con las siguientes ecuaciones:

$$\text{Para tuberías con diámetros internos hasta de 1.37 m :} \quad e_{min} = \frac{D_i}{288}$$

$$\text{Para tuberías con diámetros internos mayores que 1.37 m :} \quad e_{min} = \frac{D_i + 0.5}{400}$$

En ningún caso el espesor de pared de tuberías de acero puede ser inferior al calibre 14 (1.9 mm, 0.0747 pulg).

7. Deflexiones horizontales admisibles

La deflexión horizontal que ocurre en una sección transversal de tubería al estar sometida a una carga vertical por unidad de longitud debe limitarse para diferentes tipos de recubrimientos externos y revestimientos internos a los valores de la Tabla G-1.3

TABLA G-1.3
Deflexiones horizontales admisibles

TIPO DE REVESTIMIENTO INTERNO	TIPO DE RECUBRIMIENTO EXTERNO	DEFLEXIÓN ADMISIBLE
Mortero	Mortero	0.02 D
Mortero	Flexible	0.03 D
Flexible	Flexible	0.05 D

8. Soportes de tuberías de acero

A. General

Se permite la utilización de diferentes tipos de soportes dependiendo del tamaño, circunstancias especiales y economía. Para tuberías pequeñas se permite en general cualquier tipo de apoyo o sujeción a estructuras de soporte. Cuando la tubería pueda verse sometida a cambios de temperatura que produzcan movimientos longitudinales de consideración deben utilizarse rodillos cóncavos o ganchos ajustables.

Para tuberías que actúen como elementos auto-soportados deben utilizarse apoyos especiales de concreto con material especial de apoyo (apoyo de concreto tipo montura o silla) o vigas anulares de acero soldadas a la tubería. El tipo de soporte utilizado depende de las condiciones de utilización y de consideraciones económicas.

B. Fuerzas no balanceadas

Los sistemas de tuberías están sometidos normalmente a fuerzas no balanceadas debidas a la acción estática o dinámica del fluido dentro de la tubería. Las fuerzas no balanceadas ocurren normalmente en los cambios de dirección del flujo, en las reducciones de diámetro, en las válvulas y en los extremos cerrados. Las fuerzas de reacción a este desbalance de fuerzas debe proporcionarse mediante muertos o transmitirse a la pared de la tubería mediante uniones soldadas, restringidas, y finalmente al suelo circundante.

C. Apoyos del tipo montura o silla

El tipo de apoyo montura o silla es en general uno de los más económicos y permite una mayor flexibilidad en la construcción. Toda tubería que actúe como elemento auto-soportado debe diseñarse de tal manera que se cumpla la siguiente ecuación :

$$S_{max} \leq S_{adm} \quad (\text{G-1.4})$$

El esfuerzo máximo en la tubería en la zona del soporte debe calcularse mediante la siguiente ecuación, tanto para luces simples como para luces múltiples :

$$S_{tmax} = S_b + S_l \quad (\text{G-1.5})$$

S_b es igual a S_{fl} para tuberías con extremos sin restricción o igual a $S_{fl} + 0.25 S_p$ para tuberías con extremos restringidos.

El esfuerzo localizado en el apoyo S_l . Se puede calcular mediante fórmula siguiente

$$S_l = k_A \frac{P}{t^2} \ln\left(\frac{r}{t}\right) \quad (\text{G-1.6})$$

$k_A = 0.02 - 0.00012*(A_p-90)$.

Además de lo anterior deben considerarse los esfuerzos internos generados por cargas como son la carga sísmica, la carga de viento o los efectos por cambios de temperatura cuando sean aplicables.

Para tuberías totalmente llenas, apoyadas a intervalos, y cuya sección transversal se mantiene circular en y entre los apoyos, las ecuaciones anteriores conforman una metodología aceptable para el cálculo de esfuerzos y en general es aplicable la teoría general de vigas para una o múltiples luces.

Si la tubería está parcialmente llena, la sección transversal entre los puntos de apoyo pierde circularidad y el esfuerzo máximo es considerablemente superior que el dado por la fórmula corriente de cálculo de esfuerzos a flexión. En este caso el esfuerzo máximo puede encontrarse para la condición de llenado medio.

Para el caso de tuberías a presión con extremos totalmente restringidos, debe tenerse en cuenta el efecto de la relación de Poisson sobre el esfuerzo anular, el cual produce tensión longitudinal, este esfuerzo debe adicionarse al esfuerzo de flexión para obtener el esfuerzo total de flexión de viga.

El ángulo del perímetro efectivamente apoyado de la tubería, A_p debe ser superior a 90° . El diseñador debe considerar esta longitud de apoyo efectiva en los cálculos. El ancho del apoyo debe quedar controlado por un adecuado diseño de la pila de soporte.

Para instalaciones de apoyos múltiples, deben proporcionarse apoyos y anclajes seguros a la tubería en los intervalos especificados por el diseñador. La tubería debe anclarse efectivamente al apoyo mediante una banda perimetral de acero firmemente anclada al concreto mediante pernos.

D. Deflexiones de la tubería por acción de viga

La máxima deflexión vertical de tuberías por acción de viga debe determinarse utilizando la teoría elástica tradicional para vigas de una o más luces considerando las condiciones de apoyo y los efectos correspondientes a las cargas uniformemente distribuidas debidas al peso propio, peso del agua, peso de recubrimientos, aislamientos y protecciones aplicados a la tubería, y a las cargas concentradas como válvulas, uniones y en general los diferentes aditamentos.

La deflexión máxima admisible para tuberías apoyadas a intervalos es de 1/360 de la máxima luz libre entre apoyos.

E. Pendiente de la tubería para evitar bolsas de aire

Con el fin de evitar fenómenos de bolsas de aire en tuberías apoyadas a intervalos, la elevación en uno de los extremos de todas las luces debe ser superior a la del extremo adyacente en una cantidad por lo menos igual a cuatro veces la máxima deflexión calculada en el centro de la luz. En este caso debe preverse la eventual ocurrencia de asentamientos elásticos y por consolidación en los apoyos a largo plazo.

F. Apoyos del tipo viga anular soldada a la tubería

Los apoyos del tipo viga anular soldada a la tubería permiten en general la utilización de luces mayores que el sistema de apoyo del tipo montura o silla. Las vigas anulares evitan la distorsión del tubo en los puntos de apoyo manteniendo así su habilidad para trabajar como vigas, lo cual permite mayores intervalos de apoyo.

El diseño de este tipo de apoyo debe realizarse por métodos elásticos de análisis y los esfuerzos máximos deben limitarse a los esfuerzos admisibles dados en el literal 4.

Alternativamente a los métodos elásticos de análisis pueden utilizarse métodos de diseño basados en factores de carga y resistencia tal como se establece en el Título F de *las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente, NSR-98*, ley 400 de 1997 y Decreto 33 de 1989 o los decretos que lo reemplacen o complementen, referente a estructuras metálicas.

Para soportar las vigas anulares deben disponerse en cada uno de los lados de la tubería una columna corta conectada a la viga anular y apoyada en una zapata o pila de concreto reforzado bien sea por apoyo directo o mediante un dispositivo que permita el desplazamiento longitudinal o una conexión a base de rótula.

Además de lo establecido anteriormente, para el diseño de este tipo de construcción debe considerarse la condición de operación del tubo a medio llenar actuando adicionalmente al peso propio del sistema el cual a su vez incluye las protecciones, aislamientos y recubrimientos colocados en la tubería.

El análisis de esfuerzos en este tipo de construcción puede realizarse mediante métodos racionales basados en la teoría de la elasticidad.

G. Instalación de tramos de tubería con vigas anulares de apoyo

- Precauciones durante el montaje

La instalación de tramos de tuberías con vigas anulares de apoyo requiere un procedimiento muy cuidadoso de montaje en el campo, en particular con relación al alineamiento, a las deflexiones, a la

minimización de movimientos producidos por diferencias de temperatura en lados opuestos del tubo y a procedimientos correctos de soldadura.

- Zapatas de concreto

Previamente al proceso de montaje de las tuberías deben construirse zapatas de concreto en los sitios especificados y de las dimensiones adecuadas, colocando platinas de apoyo empotradas en el concreto en la parte superior de las zapatas o dejando los pernos empotrados requeridos para la conexión al tipo de apoyo utilizado. El terminado final de la zapata de concreto debe dejarse ligeramente por debajo de la cota final especificada con el fin de permitir la realización de una nivelación final mediante mortero hasta la altura definitiva deseada. El diseño y la construcción de las zapatas debe realizarse de acuerdo con los requisitos establecidos en el Título C de las *Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente*, NSR-98, Ley 400 de 1997 y Decreto 33 de 1998 o los decretos que lo reemplacen o complementen.

- Juntas de expansión

Deben proyectarse e instalarse juntas de expansión en tuberías de acero de largas luces para permitir la expansión y contracción causada por cambios extremos de temperatura. Estas juntas se colocan cerca a los muertos de concreto y deben dejarse completamente sueltas hasta que el concreto haya fraguado durante al menos dos semanas. Una vez el concreto haya fraguado por completo, las juntas de expansión deben ajustarse firmemente, eliminando así el peligro de daño generado por el movimiento de la tubería. Durante el transporte se recomienda proteger adecuadamente las juntas de expansión, requiriéndose en general ajustar las dos partes entre si. En este caso, las uniones entre las partes deben soltarse completamente al momento de la instalación y antes que el concreto fragüe.

- Ensamblaje de tuberías

Las tuberías en proceso de ensamblaje deben soportarse mediante apuntalamiento temporal entre pilas o zapatas de apoyo. Todos los pernos, excepto los pernos de las juntas de expansión deben apretarse. Una vez la tubería esté colocada en el sitio definitivo, debe proceder a fundirse las estructuras de entrada y salida. En seguida pueden colocarse las platinas de apoyo ajustando la altura final de las mismas mediante el mortero de nivelación. Los apoyos temporales y las cuñas utilizadas en el montaje deben removerse antes de llenar la tubería con agua o de lo contrario la tubería puede verse sometida a esfuerzos indebidos.

9. Uniones en tuberías de acero

A. General

El tipo de unión seleccionada y el cuidado con el cual se instale son consideraciones importantes tanto para el diseñador como para el Interventor de la obra. Los criterios que deben utilizarse en la selección del tipo de unión en tuberías de acero para una obra particular son la facilidad de instalación en el campo, la capacidad de sello de la unión en diferentes situaciones de operación, la vida útil y durabilidad, los requerimientos de mantenimiento, la flexibilidad, la economía, la posibilidad de aplicación de protección y/o recubrimientos, la alineación proporcionada, la integridad de la unión, la facilidad de manejo, la resistencia a esfuerzos, los requerimientos de protección después de la instalación y los riesgos asociados a la fabricación e instalación, además de los que el ingeniero diseñador considere aplicables.

En algunos casos puede requerirse la utilización de más de un tipo de unión.

B. Tipos de uniones permitidas

Se permite la utilización de cualquiera de los tipos de conexión siguientes, siempre y cuando cumplan con las normas técnicas correspondientes que se presentan en la Tabla G-1.4.

TABLA G-1.4
Tipos de uniones permitidas para tuberías de acero

Tipo de Junta	Norma Técnica Colombiana	Otras Normas
Juntas de campana y espigo con unión de caucho	• NTC 2587	• AWWA C 111
Juntas soldadas en campo	• NTC 2587	• AWWA C 206 • ASTM A 865
Acoplamientos con manga	• NTC 2587	• AWWA C 219 • ASTM F 682
Uniones "Grooved and shouldered"	• NTC 2587	• AWWA C 606-87
Bridas	• NTC 2587	• AWWA C 207 • ASTM A 961

Otros tipos de uniones patentadas pueden utilizarse siempre y cuando se sigan las instrucciones del fabricante y se demuestre mediante ensayos o tramos de prueba el buen comportamiento de los diferentes tipos de uniones al verse sometidas a los esfuerzos, deformaciones y condiciones generales a las que se van a ver sometidos en la instalación definitiva, incluyendo las condiciones extremas utilizadas en el diseño tales como presiones máximas, movimientos sísmicos y otros.

10. Accesorios y dispositivos

A. Normas

Todos los accesorios y dispositivos que se utilicen en el diseño y construcción de sistemas de tuberías de acero para acueductos deben estar normalizados y estandarizados. La norma AWWA C208, proporciona dimensiones de accesorios para tuberías de acero soldadas de 6 pulgadas y mayores. La norma AWWA C200, especifica los requerimientos de fabricación de accesorios y uniones especiales. Los fabricantes de cada sistema deben proporcionar las dimensiones estándares de los accesorios y dispositivos que ofrecen.

B. Designación

Todos los dispositivos deben designarse utilizando métodos estándar para evitar mal interpretaciones. La norma ASTM F 1000 o la norma NTC correspondiente, especifica la designación que debe utilizarse en todos los casos.

C. Ensayos no destructivos

Todos los accesorios y dispositivos deben someterse a ensayos no destructivos por parte del fabricante. La norma AWWA C200 proporciona métodos de ensayo no destructivo para soldaduras en accesorios y secciones especiales. El interventor puede ordenar los ensayos que considere conveniente sobre los accesorios y dispositivos que se van a utilizar en la construcción del sistema.

D. Anillos de anclaje.

Los anillos de anclaje para utilizar en bloques de anclaje o en muros de concreto pueden ser simples aletas anulares. Debe tenerse especial cuidado para asegurar que estos anillos de anclaje están colocados de manera que proporcionen un adecuado factor de seguridad contra punzonamiento por cortante en el concreto. La soldadura de filete que debe utilizarse para soldar las aletas al tubo se especifica en la norma AWWA C207.

E. Ductos de salida

Las salidas de ductos principales pueden acomodarse fácilmente en cualquier sitio en lo que respecta a tamaño, forma o posición. Las salidas se sueldan a la línea principal mediante collares de refuerzo. Este trabajo puede realizarse en el taller durante la fabricación de la tubería, al lado de la trinchera o una vez instalada la tubería. Todas las salidas de más de un tercio del diámetro de la línea principal requiere consideraciones especiales de refuerzo.

F. Conexiones a tuberías de otro material

Especial cuidado debe tenerse al conectar tuberías de diferente material debido a la posibilidad de corrosión galvánica. Cuando se conecte tubería de acero a tubos de hierro gris o hierro colado, o a tubos de concreto reforzados con acero o a tubería de cobre o galvanizada debe utilizarse una unión aislante eléctricamente. Cualquier válvula o equipo ferroso que se conecte a la tubería de acero debe encapsularse en láminas de polietileno y recubrirse con algún protector compatible con el utilizado en la tubería de acero.

G. Conexión de válvulas

A menos que se considere específicamente en el diseño, las válvulas no deben someterse a fuerzas externas y por lo tanto debe instalarse al menos una unión flexible cerca al dispositivo.

H. Uniones aislantes eléctricas

Cuando los ensayos así lo indiquen o cuando el diseñador juzgue conveniente deben disponerse de uniones aislantes eléctricas en líneas largas para separarlas en tramos independientes y evitar así la transmisión de energía eléctrica generada por diferencias en el potencial del suelo o por cualquier otro efecto.

I. Válvulas ventosas

Deben instalarse válvulas ventosas en los puntos altos de la tuberías para proporcionar una ventilación continua del aire acumulado. Además deben instalarse válvulas de entrada de aire para evitar la creación de vacíos y eventuales colapsos de la tubería por presiones negativas con respecto a la atmosférica.

11. Control de la corrosión

A. General.

Para efectos del presente Título se reconocen los siguientes tipos de corrosión : corrosión galvánicas, corrosión electrolítica, corrosión bioquímica, corrosión por esfuerzo y fatiga.

B. Métodos de control.

Los métodos de control de la corrosión que se aceptan son aislamiento eléctrico del suelo y agua circundante mediante recubrimientos protectores, inducción eléctrica o protección catódica para contrarrestar las corrientes asociadas a la corrosión y creación de un ambiente inhibitorio mediante protecciones especiales para prevenir o reducir la corrosión.

C. Recubrimientos y revestimientos protectores

Es responsabilidad del ingeniero diseñador la selección y la recomendación de los materiales de recubrimiento exterior y protección mediante revestimientos interiores para ser utilizados en tuberías enterradas o sumergidas. En todos los casos deben seguirse las instrucciones del fabricante para una adecuada aplicación y curado.

12. Recubrimientos exteriores y revestimientos interiores

Según lo especifique el diseñador deben utilizarse recubrimientos y revestimientos interiores para lograr una adecuada defensa de los sistemas de tubería de acceso contra la corrosión.

Los recubrimientos y revestimientos que se seleccionen dependen del tipo de construcción, de la agresividad del ambiente, de las condiciones de operación. La efectividad de los mismos depende de su permanencia y de su resistencia física a los riesgos de transporte, instalación, cambios de temperatura, esfuerzos del suelo y la presión; de la resistencia a la penetración y absorción del agua; de las propiedades de aislamiento eléctrico; y de la incapacidad de reaccionar químicamente con el suelo, el

aire, el agua, los ácidos orgánicos, la alcalinidad y la acción bacterial. La efectividad de los recubrimientos también depende de la facilidad de aplicación, de la alta adhesión, de la compatibilidad al utilizar protección catódica y del costo.

Los revestimientos internos deben analizarse adicionalmente a los factores anteriores, según su resistencia al flujo y a los requerimientos tóxicos para el agua potable.

El ingeniero diseñador debe seleccionar el recubrimiento y revestimiento que mejor se acomode al proyecto y al ambiente particular. Se aceptan los tipos de recubrimientos y revestimientos para protección de tuberías de acero que cumplan con las especificaciones técnicas siguientes : AWWA C203, AWWA C205, AWWA C209, AWWA C210, AWWA C213, AWWA C214 y AWWA C602.

ANEXO G.2

TUBERÍAS EN POLICLORURO DE VINILO - PVC

1. Propiedades básicas y clasificación

Los compuestos de Policloruro de vinilo - PVC se clasifican de acuerdo con sus propiedades físicas según las normas NTC 369 y ASTM D 1784. En la Tabla G-2.1 se establecen las cinco propiedades especificadas para las diferentes clasificaciones (resina de base, resistencia al impacto, resistencia a la tensión, módulo de elasticidad en tensión y temperatura de deflexión bajo carga) y en la Figura G-2.1 se ilustra la manera como un material seleccionado se identifica mediante el sistema de clasificación mostrado. En la Tabla G-2.2 se presenta la designación correspondiente según la resistencia química del compuesto.

TABLA G-2.1
Requerimientos para componentes rígidos de policloruro de vinilo - PVC

No de Designación	Propiedades y unidades	Límites de las celdas								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
1	Resina de base	No especificada	policloruro de vinilo homopolímero	polímero clorado (cloruro de vinilo)	Etil vinilo copolímero de cloruro	Propileno copolímero cloruro de vinilo	Acetato de vinilo copolímero cloruro de vinilo	Alcilo vinilo copolímero Etercloruro de vinilo		
2	Resistencia mínima al impacto : (IZOD) (J/m)	No especificada	< 34.7	34.7	80.1	266.9	533.8	800.7		
3	Resistencia mínima a la tensión : (MPa)	No especificada	< 34.5	34.5	41.4	48.3	55.2			
4	Módulo de Elasticidad mínimo en tensión (Mpa)	No especificada	< 1930	1930	2206	2482	2758	3034		
5	Mínima temperatura de deflexión bajo carga. Mín. 1.82 (Mpa) :	No especificada	< 55	55	60	70	80	90	100	110

Nota :

- El valor mínimo de cada propiedad determina el número de celda aunque el valor esperado máximo puede caer en una celda superior.
- Flamabilidad : Todos los compuestos cubiertos por este Título deben arrojar los siguientes resultados al ser ensayados de acuerdo con el método D635 : extensión media de quemado < 25 mm ; tiempo medio de quemado < 10 s.
- Fuente de la Tabla G.3.16: normas NTC 369 y ASTM D 1784

La manera en que los materiales son identificados por este sistema de clasificación es ilustrado para la clase de componentes de PVC rígido 12454-B-B, 12454-C, 14333-D; teniendo en cuenta los requerimientos de la Tabla G-2.1 y la Tabla G-2.2.

FIGURA G-2.1
Sistema de clasificación

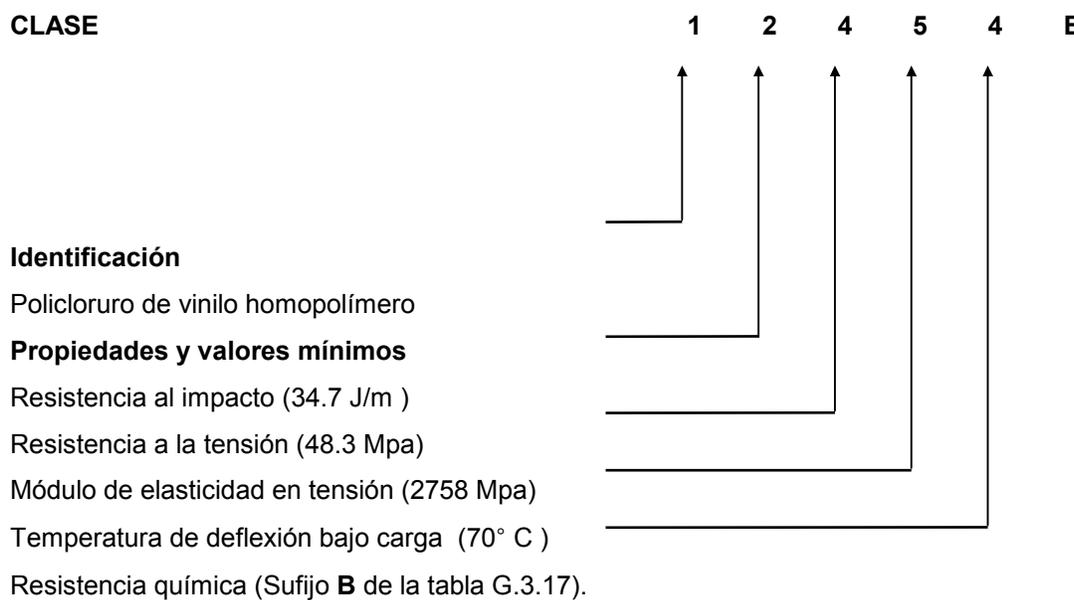


TABLA G-2.2
Designación del sufijo para la resistencia química

SOLUCIÓN	A	B	C	D
H ₂ SO ₄ (93 %) - 14 días de inmersión a 55 +/- 2 °C				
Cambio en Peso				
Incremento máximo en porcentaje	1.0*	5.0*	25.0	NA*
Disminución máxima en porcentaje	0.1*	0.1*	0.1	NA
Cambio en la resistencia a la flexión (punto de fluencia)				
Incremento máximo en porcentaje	5.0*	5.0*	5.0	NA
Disminución máxima en porcentaje	5*	25.0*	50.0	NA
H ₂ SO ₄ (80 %) - 30 días de inmersión a 60 +/- 2 °C				
Cambio en Peso				
Incremento máximo en porcentaje	NA	NA	5.0	15.0
Disminución máxima en porcentaje	NA	NA	5.0	0.1
Cambio efectivo en la resistencia a la flexión (punto de fluencia)				
Incremento máximo en porcentaje	NA	NA	15.0	25.0
Disminución máxima en porcentaje	NA	NA	15.0	25.0

Notas :

- NA no aplica

- Los especímenes lavados en agua corriente y secados por corriente de aire o cualquier otro medio mecánico, no deben evidenciar sudado dentro de las 2 horas siguientes a la remoción del baño en ácido.

Toda tubería de PVC que se utilice dentro del alcance del presente Reglamento debe estar referida al compuesto utilizado en su fabricación. Las tuberías de presión de PVC que se fabrican de acuerdo con la norma NTC 382 deben ser extruídas de un compuesto de PVC con una clasificación 12454-B, 12454-C, 14333-D o mejores.

2. Corrosión y resistencia química

Cuando se utilice tubería de PVC dentro de los alcances del presente Título no es necesario utilizar protecciones, recubrimientos, revestimientos, protección catódica ni cualquier otro tipo de protección debido a que el PVC es inmune a casi cualquier tipo de corrosión tanto química como electroquímica.

Para aplicaciones críticas, deben realizarse ensayos de la resistencia de los tubos de PVC a reaccionar con o al ataque de diferentes sustancias químicas especialmente en el largo plazo. Debe considerarse en los ensayos la duración de la exposición, las concentraciones y las condiciones de trabajo que se esperan en la aplicación particular.

3. Efectos ambientales

A. Temperatura

Las propiedades especificadas para el PVC están basadas en una operación a 23° C de temperatura. La mayoría de los sistemas de agua operan a temperaturas inferiores a 23° C. El diseñador debe considerar en sus diseños y especificaciones de construcción que para temperaturas inferiores a la de referencia, la rigidez y la resistencia a la tensión de la tubería aumentan con respecto a la especificada, aumentando por lo tanto la capacidad de la tubería para absorber presiones y la habilidad para resistir las presiones de tierra y de instalación. Simultáneamente los tubos de PVC pierden resistencia al impacto y ductilidad a medida que la temperatura baja requiriéndose de esta manera mayores cuidados en el manejo y la instalación. Deben tomarse las precauciones necesarias en el diseño para acomodar las expansiones y contracciones debidas a los cambios de temperatura esperados en la tubería.

B. Resistencia al ataque biológico

Las tuberías de PVC proporcionan prácticamente resistencia total a ataques biológicos. Solo en casos específicos debe investigarse la eventual degradación o deterioro causado por la acción de micro o macro organismos vivientes. Sin embargo, los sellantes elastoméricos y algunos productos utilizados para la instalación pueden ser susceptibles a ataques biológicos por lo cual deben seguirse cuidadosamente las instrucciones del fabricante para la instalación de las tuberías de PVC y utilizar únicamente los productos especificados.

C. Resistencia a la intemperie

Toda tubería de PVC sometida a la acción de la radiación ultravioleta debe protegerse mediante recubrimientos especiales o simplemente mediante pintura superficial.

D. Abrasión

Se permite la utilización de tubería de PVC en aplicaciones donde se esperen condiciones de abrasión considerables. Para exposiciones de abrasión extrema, deben tomarse las precauciones necesarias para proteger la tubería o se realizarán los ensayos para estimar el grado de desgaste esperado y el diseñador debe especificar claramente si este es admisible o no.

4. Pruebas e inspección por parte del fabricante

Las pruebas e inspección a cargo del fabricante de tuberías de PVC se dividen en tres categorías: (1) ensayos de calificación, (2) ensayos de control de calidad y (3) ensayos de aseguramiento de la calidad.

A. Ensayos de calificación

En la fabricación de tuberías de PVC se requiere la realización de los siguientes ensayos de calificación :

TABLA G-2.3
Ensayos de calificación en tuberías de pvc

Tipo de Ensayo	Norma	Observaciones
Ensayo de clasificación del compuesto para extrusión de PVC.	NTC 369 ASTM D 1784	
Ensayo Toxicológico	NSF Standard 14	
Ensayo Organoléptico (sabor y olor)	NSF Standard 14.	Obligatorio en tuberías para conducción de agua potable
Ensayo de resistencia a la tensión hidrostática de largo plazo	NTC 382	Esfuerzos admisibles de tensión en orientación tangencial al tubo.
Ensayo de comportamiento de uniones.	NTC 2295	Verificación de la capacidad de sello de uniones.

B. Ensayos de control de calidad

Los ensayos de control de calidad incluyen, pero no están limitados a, ensayos e inspecciones para verificar propiedades dimensionales, físicas y mecánicas. En la fabricación de tuberías de PVC se requiere la realización de los siguientes ensayos de control de calidad e inspección :

TABLA G-2.4
Ensayos de control de la calidad

Inspecciones o Ensayos	Procedimiento o Norma
Inspección de la calidad del acabado, terminación y apariencia del producto :	Se verifica la homogeneidad del producto de manera que esté libre de vacíos, grietas, inclusiones, y otros defectos y que sea uniforme en color, densidad, y en otras propiedades físicas. Las superficies se inspeccionan para que estén libres de cualquier defecto o deformación, al igual que las uniones que se inspeccionan para que estén libres de imperfecciones y daños.
Inspección de contramarca	La contramarca de tuberías de PVC debe incluir : <ul style="list-style-type: none"> • Fabricante marca registrada • Diámetro nominal externo • Designación del código del material • Clase de presión • Relación de la dimensión • Sello de certificación (si se requiere). • Designación de la especificación • Código del Producto
Medición de dimensiones Si las dimensiones no cumplen con las dimensiones críticas especificadas, el producto se clasifica como no satisfactorio. Generalmente se requiere las mediciones dimensionales siguientes :	La medición de dimensiones debe realizarse siguiendo las normas NTC 3358 y ASTM D 2122 Diámetro del tubo Espesor de pared del tubo Dimensiones de la unión de campana Ovalización (deformaciones de la sección circular) Longitud
Ensayo de rotura (estallido rápido) :	Debe realizarse de acuerdo con las normas NTC 3579 Y ASTM D 1599. La muestra de tubería de PVC se presuriza hasta la falla en un lapso de tiempo de 60 a 70 seg. La presión medida no debe ser menor que la especificada en la norma correspondiente.
Ensayo de aplastamiento	Debe realizarse de acuerdo con las normas NTC 3254 y ASTM D 2412. El aplastamiento es realizado entre dos placas paralelas. Cuando el tubo está aplastado en un 60 %, la muestra no debe mostrar evidencias de fisura, agrietamiento, separaciones o rotura.
Ensayo de calidad de la extrusión	Debe realizarse de acuerdo con las normas NTC 2983 Y ASTM D 2152

C. Ensayos de aseguramiento de calidad

Los ensayos de aseguramiento se realizan al final del proceso de fabricación para garantizar que las propiedades y la calidad definida en el producto final satisface consistente y confiablemente con los requisitos de las especificaciones aplicables.

En la fabricación de tuberías de PVC se requiere la realización de los siguientes ensayos de aseguramiento de la calidad :

- Ensayo de presión sostenida : debe realizarse de acuerdo con las normas NTC 3578, NTC 382, ASTM D 1598 y ASTM D 2241.

5. Capacidad a presión

El cálculo de la Capacidad a presión se debe realizar según la norma NTC 382.

Para calcular la capacidad a presión de las tuberías de PVC se consideran dos categorías de presión que son la presión hidrostática interna y las sobre presiones.

A. Presión hidrostática interna

El fabricante debe especificar la capacidad a presión hidrostática de la tubería correspondiente a una temperatura de referencia especificada (normalmente 23 °C) y la variación de la capacidad con aumentos o disminuciones en la temperatura. La capacidad a presión hidrostática debe especificarse además en función del esfuerzo de diseño hidrostático para el material de la tubería de PVC, de la relación de dimensiones entre el diámetro externo y el espesor de pared y de la reserva para excesos de presión.

También debe especificar el fabricante las variaciones de la capacidad de la tubería en el tiempo. Para esto el fabricante debe llevar a cabo ensayos de corto plazo (estallido rápido) y ensayos de largo plazo (carga sostenida) de acuerdo con la norma correspondiente. No se admite una especificación de presión para tubería de PVC basada únicamente en la resistencia a corto plazo.

La capacidad a presión para una tubería de PVC debe definirse para una vida de diseño de 50 años y puede relacionarse conservativamente para una base de diseño hidrostática establecida a 100.000 horas.

La respuesta de tuberías de PVC después de 100.000 horas de aplicados los esfuerzos anulares puede determinarse con precisión mediante ensayos siguiendo el procedimiento establecido en la norma NTC 3579 y ASTM D 1598 y mediante los análisis realizados de acuerdo con la norma NTC 0 y ASTM D 2837.

El esfuerzo hidrostático de diseño, HDB, debe determinarse como el esfuerzo anular establecido en la línea de regresión de esfuerzos para 100.000 horas según la metodología anterior. Toda tubería de PVC debe tener el valor mínimo de HDB establecido en la norma correspondiente.

El esfuerzo de diseño admisible para una tubería de PVC se define mediante la siguiente relación :

$$S_{adm} = \frac{HDB}{FS} \quad (\mathbf{G-2.1})$$

Para el diseño debe utilizarse la clase de presión que se define como la presión interna en el tubo de dimensiones determinadas que lleva al material hasta el esfuerzo admisible (HDB/FS).

La relación entre la clase de presión, el HDB y las dimensiones de la tubería es la siguiente :

$$FS(PC + P_{sp}) = \frac{2}{DR - 1} HDB \quad (\mathbf{G-2.2})$$

El factor de seguridad FS debe ser el que especifique la norma correspondiente.

B. Sobre presiones

Cuando la velocidad del flujo de diseño sobrepase 1.5 m/s, debe darse una consideración especial al control de las sobrepresiones en lo relativo a selección de las bombas, controles en las bombas, válvulas de control y válvulas de seguridad.

El diseño para sobrepresiones debe realizarse de acuerdo con lo especificado en la norma correspondiente.

En el diseño para sobrepresiones debe considerarse que el número de sobrepresiones que una tubería de PVC es capaz de resistir es inversamente proporcional al esfuerzo anular máximo que se produce en cada ciclo de sobrepresión.

6. Cargas y condiciones externas

A. Rigidez

La rigidez intrínseca de una tubería flexible puede calcularse mediante el método descrito en las normas NTC 3254 y ASTM D 2412.

La rigidez intrínseca de tuberías flexibles (para una deflexión del 5%) se define mediante la siguiente fórmula:

$$K_t = \frac{F}{\Delta y} \geq \frac{EI * 10^6}{0.149 * r^3} = 0.559 E \left(\frac{t}{r} \right)^3 * 10^6 \quad \text{(G-2.3)}$$

Para tubos de PVC con dimensiones controladas por el diámetro exterior puede utilizarse la siguiente ecuación :

$$K_t = 4.47 * \frac{E}{(DR - 1)^3} * 10^6 \quad \text{(G-2.4)}$$

en donde, DR = D_e/t

B. Cálculo de deflexiones de la sección transversal

La deflexión horizontal que ocurre en una sección transversal de una tubería flexible al estar sometida a una carga vertical por unidad de longitud puede estimarse mediante la ecuación que se presenta en el literal G.3.2.2.3 , conjuntamente con la ecuación anterior (numeral 1).

C. Deflexiones transversales admisibles

En el diseño de sistemas de distribución de agua utilizando tuberías de presión de PVC, el control o limitación de las deflexiones de la sección transversal no necesita considerarse como un factor crítico de diseño debido a los relativamente altos valores de rigidez de los tubos y a la resistencia a la deflexión ejercida por la presión interna. La norma ASTM D 2321 establece que el valor del límite de deflexión transversal admisible es el 7.5% del diámetro de la tubería.

D. Deflexión Longitudinal

El proceso de diseño y de instalación debe buscar minimizar los efectos de flexión en la tubería de PVC. Se permite cierto grado de flexión longitudinal durante la instalación con el fin de evitar obstrucciones y responder a situaciones no previstas o cambios en las condiciones de instalación tales como asentamientos diferenciales de consideración en el suelo de apoyo, asentamientos diferenciales de estructuras o dispositivos como válvulas que están conectados a tubería de PVC, variaciones en las condiciones del suelo debidos a cambios en el contenido de humedad (suelos expansivos u orgánicos) o procedimientos incorrectos de instalación tales como cimentación no uniforme, soporte inestable o consolidación inadecuada de empotramientos y apoyos.

La capacidad de deflexión de la tubería puede incrementarse al utilizar uniones flexibles de manera que se reduzca el riesgo de daño o falla.

E. Deflexión longitudinal admisible

La deflexión requerida en la tubería puede absorberse mediante flexión controlada en la tubería y mediante deflexiones por rotación en las uniones.

Las deflexiones admisibles en uniones serán las especificadas por los fabricantes y el límite estará definido por la rotación máxima sin que se produzca escape de agua.

La deflexión admisible en tuberías de PVC se limita a un radio de flexión R_b dado por :

$$R_b = 250De \quad \text{(G-2.5)}$$

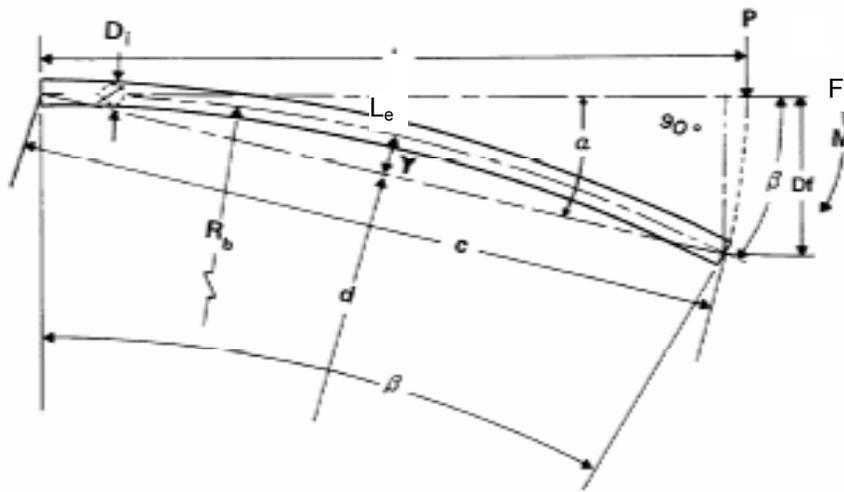
Alternativamente a lo anterior, la deflexión admisible en la tubería estaría limitada por el esfuerzo a flexión admisible dado por la fórmula siguiente :

$$S_b = (HDB - S_t) \frac{T'}{FS} \quad (\text{G-2.6})$$

Donde el FS se selecciona según la norma técnica correspondiente. El valor de $S_t = HDB/2$

Para el siguiente diagrama, la deflexión admisible también puede limitarse mediante el radio mínimo de flexión, $R_{b\min}$; el ángulo de deflexión longitudinal, α , a partir de una tangente al círculo, el desplazamiento lateral respecto a una tangente en uno de los extremos, D_f ; y la fuerza lateral concentrada equivalente que produciría la deflexión admisible, P . La Figura G-2.2 ilustra las diferentes variables establecidas. Las ecuaciones siguientes establecen las relaciones correspondientes.

FIGURA G-2.2
Doblamiento longitudinal



$$R_{b\min} = \frac{ED_i}{2S_b} \quad (\text{G-2.7})$$

$$\alpha = \frac{\beta}{2} = \frac{360L}{4\pi R_b} \quad (\text{G-2.8})$$

$$D_f = 2R_{b\min} (\text{sen } \beta / 2)^2 \quad (\text{G-2.9})$$

donde D_f es la desviación media desde la tangente del círculo.

Suponiendo que durante la instalación la tubería se encuentra temporalmente empotrada en uno de los extremos y funciona como una viga en voladizo, la carga concentrada máxima que puede aplicarse en el extremo se calcula mediante la siguiente fórmula :

$$F_l = \frac{3ED_f}{L_l^3} \quad (\text{G-2.10})$$

No se permite el doblado de tubería de PVC mediante maquinaria a menos que se garantice y se compruebe que no se sobrepasan los límites establecidos anteriormente.

F. Cambio de longitud admisible por efectos térmicos.

En el diseño de sistemas de tuberías de PVC se establece un cambio de longitud admisible por efectos térmicos de 10 mm para cada 30 m de tubería y por cada 5.6°C de cambio de temperatura.

Los esfuerzos por cambios de temperatura deben considerarse en el diseño en combinación con las otras condiciones de operación establecidas. Los esfuerzos deben calcularse según lo establecido en G.3.2.8.

Cuando se utilicen uniones de tipo espigo y campanas el diseñador puede considerar a su criterio que normalmente para dichas uniones la expansión o la contracción térmica no debe ser en general un factor significante en el diseño.

ANEXO G.3

TUBERÍAS EN CONCRETO A PRESIÓN

1. Generalidades

Este literal desarrolla los siguientes temas relacionados con las tuberías en concreto a presión : tipos de tuberías de concreto a presión, propiedades de materiales para diseño, criterios para cargas y presiones en estados límites, diseño de accesorios y dispositivos, resistencia a los empujes, diseño de tuberías sobre pilas de apoyo y consideraciones de diseño para ambientes corrosivos.

2. Tipos de tuberías de concreto a presión

Se aceptan los siguientes tipos de tuberías de concreto a presión para ser usados en sistemas de acueductos, los cuales deben ajustarse a las normas indicadas.

TABLA G-3.1
Tuberías de concreto a presión y normas

Tipo de Tubería	Norma	Rango de Diámetros (mm)	Presión Máxima (kPa)	Recubrimiento máximo del Terreno (m)	Norma de diseño y bases
Tubería de concreto reforzado con cilindro de acero	AWWA C300	760 a 3660	variable	limitado	Tubería rígida
Tubería de concreto presforzado con cilindro de acero	AWWA C301	410 a 1220 (max.6350)	2758	30	AWWA C304 Tubería rígida
Tubería de concreto reforzado sin cilindro de acero	AWWA C302	300 a 3660	379		Tubería rígida $t > D_i/12$
Tubería semirígida de concreto reforzado con cilindro de acero	AWWA C303	250 a 1370	2758		Tubería semi-rígida

A. Tubería de concreto reforzado con cilindro de acero

Este tipo de tubería es similar a la tubería cilíndrica de concreto preesforzado excepto que en lugar de los cables de preesfuerzo de alta resistencia se coloca acero de refuerzo. El espesor mínimo de la pared es de un doceavo (1/12) del diámetro interno de la tubería.

El tipo de unión de este tipo de tubería es idéntico a la de las tuberías de concreto preesforzado con cilindro de acero.

B. Tubería concreto preesforzado con cilindro

Las tuberías de concreto preesforzado incluyen los siguientes dos tipos de construcción : (1) cilindro en lámina de acero revestido con un núcleo de concreto y (2) con cilindro en lámina de acero embebido en un núcleo de concreto. En ambos tipos se requiere de un cilindro en lámina de acero soldada y la longitud total del tubo se le añaden anillos para las uniones en los extremos. El conjunto debe someterse a pruebas hidrostáticas para garantizar la estanqueidad. El núcleo de concreto debe tener un espesor mínimo igual a 1/16 del diámetro del tubo y su colocación debe realizarse por alguno de los siguientes métodos : centrifugación, compactación radial o fundida vertical. La colocación del cable de acero de alta resistencia que se dispone helicoidalmente alrededor del tubo debe realizarse una vez fraguado el concreto del núcleo. El esfuerzo de colocación del acero debe ser del 75 % de la

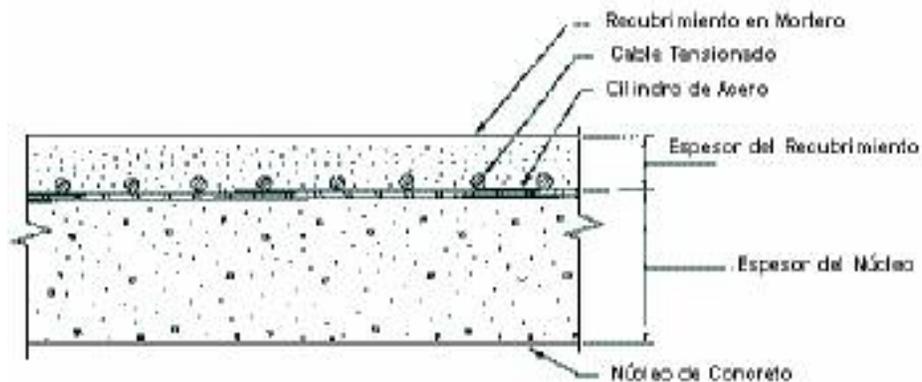
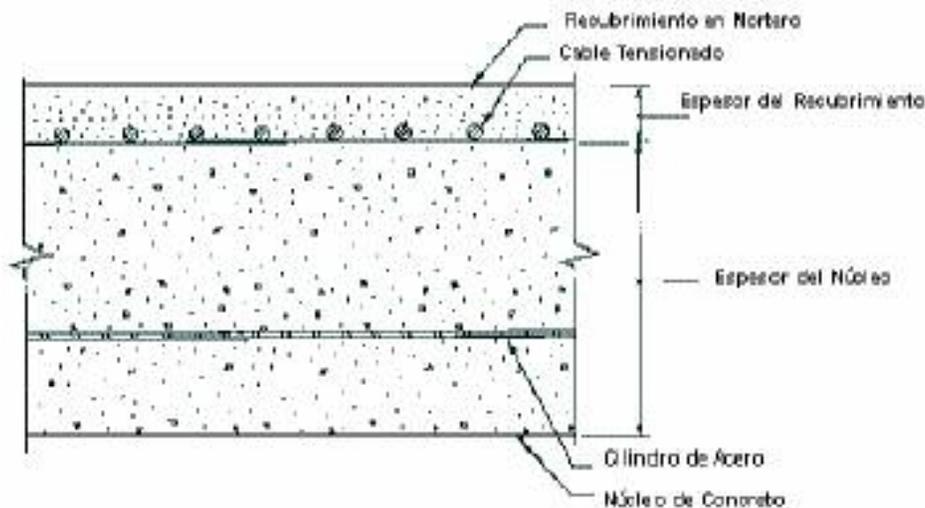
resistencia a la tensión mínima especificada. Este esfuerzo varía usualmente entre 1034 y 1303 Mpa dependiendo del tipo y diámetro del cable.

El espaciamiento del cable debe controlarse cuidadosamente para garantizar una compresión predeterminada residual en el núcleo de concreto. El cable debe luego embeberse en una lechada rica en cemento y luego recubrirse con un mortero denso rico en cemento.

Las uniones permitidas son del tipo anillo de acero con un empaque circular de caucho normalmente inyectadas con mortero en la parte exterior para protección de la unión. La parte interna de la unión puede ser protegida con mortero dependiendo del líquido que va a transportar la tubería y del protector que se haya aplicado a los anillos de unión durante el proceso de fabricación.

FIGURA G-3.1

TUBERÍAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO PRESFORZADO CON CILINDRO

**Tubería con cilindro revestido****Tubería con cilindro embebido**

C. Tubería de concreto reforzado sin cilindro de acero

Las tuberías de concreto reforzado sin cilindro de acero deben incluir una o más armazones de acero dependiendo del tamaño de la tubería y del espesor de la pared y no incluyen el cilindro de acero en los casos anteriores. Los armazones de acero pueden ser de barras de refuerzo lisas o corrugadas, alambrones o mallas de alambrones. El concreto puede colocarse por centrifugación o por fundida directa en posición vertical del tubo.

La unión típica para este sistema incluye un empaque de acero circular sólido y continuo colocado en una muesca en el espigo y sometido a compresión por la superficie de campana de la tubería a conectar. Este tipo de unión no requiere inyección de mortero. Pueden usarse también uniones de acero en cuyo caso se requiere inyección de mortero como en los casos anteriores.

D. Tubería semi - rígida de concreto reforzado con cilindro de acero

Este tipo de tuberías es similar a la tubería de concreto reforzado con cilindro de acero con la diferencia que su capacidad a presión depende en parte a la presión pasiva lateral ejercida por el suelo adyacente a la tubería, por lo cual en el diseño debe darse especial importancia a las condiciones de instalación.

3. Propiedades de materiales a utilizar en el diseño

Las propiedades de los materiales a utilizar en la fabricación de tuberías de concreto a presión incluyendo concreto preesforzado y concreto reforzado sin cilindro de acero deben ajustarse a las especificaciones de las normas correspondientes según la Tabla G-3.2

TABLA G-3.2
Propiedades de los materiales de tuberías de concreto a presión

Norma	Título
AWWA C300	Norma para Tuberías en concreto reforzado con cilindro de acero, para agua y otros líquidos
AWWA C301	Norma para Tuberías en concreto preesforzado con cilindro de acero, para agua y otros líquidos
AWWA C302	Norma para Tuberías en concreto reforzado
AWWA C303	Norma para Tuberías en concreto reforzado sin cilindro, con cilindro de acero, comportamiento semi-rígido
ASTM C 361	Tubería reforzada de concreto a presión
ASTM C 822	Terminología estándar para tubería en concreto y productos relacionados

4. Criterios para cargas y presiones en estados límites

A. Generalidades

El diseño de tuberías de concreto debe realizarse siguiendo los requisitos aplicables establecidos en el Título C de las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente, NSR-98, Ley 400 de 1997 y Decreto 33 de 1998 o los decretos que lo reemplacen o complementen. Estos requisitos deben complementarse con los establecidos en este literal.

B. Requisitos complementarios para tuberías cilíndricas y no cilíndricas de concreto reforzado

Complementariamente a lo dispuesto anteriormente, se establecen los siguientes requisitos para el diseño de tuberías de concreto reforzado con o sin cilindro de acero:

- Para el método de diseño por esfuerzos admisibles el esfuerzo de compresión calculado en el concreto no debe exceder $0.45 f'c$ y el esfuerzo admisible de tensión en el acero de refuerzo no debe exceder 152 Mpa a los lados de la tubería y no deben exceder 125 Mpa en la corona y en la

solera para tuberías tipo AWWA C300 y 152 Mpa en la corona y en la solera para tuberías tipo AWWA C302.

- La resistencia a la fluencia de diseño del acero de refuerzo no debe exceder 276 Mpa a los lados de la tubería y 228 Mpa en la corona y en la solera del tubo. Para tuberías del tipo AWWA C302 se puede utilizar el valor de 276 Mpa en todos los puntos críticos.
- Los detalles del refuerzo deben cumplir además con los requerimientos especiales que se establecen en las normas NTC 1907, NTC 2010 y NTC 2043.

D. Diseño para estados límites de tuberías cilíndricas de concreto preesforzado

Las tuberías cilíndricas de concreto preesforzado deben diseñarse para los requisitos que se establecen en la norma AWWA C304. Se deben contemplar los siguientes estados límites:

- Estados límites de servicio
- Estados límites elásticos
- Estados límites de resistencia

5. Diseño de accesorios y dispositivos

A. General

Los accesorios y dispositivos deben diseñarse y fabricarse para satisfacer requerimientos específicos de cada proyecto en particular y para minimizar las necesidades de corte y adaptaciones en el campo.

Los accesorios deben fabricarse a partir de láminas de acero soldadas, con elementos de acero soldados a los extremos y protegidas y revestidas con mortero de cemento o concreto. Pueden utilizarse accesorios estándares o si la distribución del sistema así lo requiere, el diseñador puede especificar un accesorio específico el cual puede adaptarse al tamaño y a la configuración deseada.

Los accesorios deben diseñarse en primer lugar para resistir la presión interna y luego debe verificarse el diseño para la capacidad ante las cargas externas. Cuando se requiera capacidad extra por efectos de las cargas externas, puede incrementarse el espesor de la lámina de acero o adicionar refuerzo suplementario.

B. Diseño para la presión interna

El espesor requerido para la lámina de acero debe calcularse a partir de la fórmula siguiente:

$$T_r = \frac{P_w D_{yi}}{2 f_s} \quad (\text{G-3.1})$$

El esfuerzo circunferencial en el cilindro de acero, f_s para la presión de trabajo en Mpa, no debe exceder los 114 Mpa (16500 psi)

C. Diseño para cargas externas

El diseño de los accesorios para las cargas externas debe realizarse suponiendo un comportamiento semirígido. La carga externa admisible en un accesorio está limitada entonces por la deflexión que puede ocurrir en forma segura sin que aparezcan grietas que puedan afectar el recubrimiento de mortero de cemento.

La deflexión límite horizontal o vertical se calcula de la siguiente manera:

$$\Delta = \frac{D^2}{4000} \text{ ó } 0.02 D, \text{ la que sea menor}$$

La deflexión ante las cargas externas se determina de acuerdo con lo establecido en G.3.2.2.3

En estos cálculos la rigidez efectiva del acero recubierto y revestido por el mortero de cemento se calcula con la siguiente ecuación :

$$EI = [E_c(t_1)^3 + 12E_a I_s + E_c(t_c)^3] / 12 \quad (\text{G-3.2})$$

Para cilindros de acero sin anillos de rigidización, I_s es igual al espesor del cilindro de acero al cubo en (m^3) dividido por 12. Cuando se utilicen anillos de rigidización o refuerzos similares, el valor de I_s puede calcularse como el momento de inercia combinado del cilindro de acero y el refuerzo utilizado.

Cuando se coloquen anillos de rigidización soldados al cilindro para proporcionarle soporte adicional para resistir las fuerzas externas, debe calcularse el esfuerzo longitudinal a flexión que se produce en el cilindro con la fórmula siguiente:

$$f_b = \frac{1.82(A_s - ct_y) P_w r_y}{[A_s + 1.56t_y (r_y t_y)^{0.5}] t_y} \quad (\text{G-3.3})$$

Los esfuerzos de flexión longitudinal deben sumarse a los esfuerzos longitudinales por empujes debidos a restricciones o a los esfuerzos en tuberías apoyadas en soportes individuales y deben incluirse en el diseño en caso de utilizar anillos de rigidización.

Para accesorios con empuje en las uniones de caucho no restringidas, el diseñador puede en su criterio despreciar los esfuerzos longitudinales por flexión

D. Requisitos especiales para diseño de accesorios

Para el diseño de accesorios tales como codos de diferentes ángulos, tes, yes, camisas, collares, derivaciones, salidas roscadas o cualquier otro tipo de salida deben consultarse los requisitos especiales dados en las normas AWWA C208-96 para accesorios en acero y las correspondientes para accesorios en concreto y la norma AWWA C 907-91 para accesorios de PVC y la AWWA C 906-90 para accesorios en polietileno.

6. Resistencia a los empujes

En los cambios de dirección, de área de la sección transversal o en los terminales de sistemas de tuberías a presión debe proporcionarse una restricción al empuje generado por las fuerzas no balanceadas que se producen. Estas fuerzas son debidas a empuje hidrostático, por presiones internas en el tubo y empujes hidrodinámicos debidos a los cambios de momento del agua fluyendo.

Las fuerzas de empuje en extremos terminales, salidas, bifurcaciones laterales y reductores deben calcularse en función de la presión interna P y del área de la sección transversal en la unión de la tubería. En un cambio de dirección de flujo, el empuje debe calcularse en función del ángulo de deflexión según la fórmula:

$$T = 2 P_i A \text{sen}(\Delta_d / 2) \quad (\text{G-3.4})$$

El área de la sección transversal de la unión está dado por $A = (\pi/4)D_j^2$

En tuberías enterradas, la resistencia al empuje generado en la tubería puede estimarse a partir de la fuerza de fricción según el peso propio del accesorio, el peso del recubrimiento de tierra, el peso del agua y de la capacidad de las uniones de la tubería para transmitir esta fuerza de empuje y por otro lado a partir de la resistencia pasiva del suelo contra el accesorio. Si la fuerza de desbalance es hacia arriba, la resistencia estará proporcionada por el peso propio del accesorio, el recubrimiento de tierra y el agua contenida.

Si se prevén condiciones de nivel freático altas y condiciones sumergidas, deben considerarse los efectos de la flotación sobre todos los materiales involucrados.

Si las resistencias inherentes mencionadas no son suficientes para resistir el empuje generado en la tubería debe proporcionarse una resistencia adicional o debe considerarse en el diseño un bloque de resistencia al empuje.

El diseño del bloque de resistencia al empuje debe considerar la capacidad portante segura del suelo que lo rodea y la resistencia al corte de la cuña de resistencia pasiva del suelo por detrás del bloque la cual puede controlar el diseño en casos particulares. Para el diseño de los bloques de resistencia al empuje debe consultarse al ingeniero geotecnista del proyecto.

7. Diseño de tuberías sobre pilas de apoyo

El diseño de tuberías sobre pilas de apoyo debe considerar los siguientes puntos específicos: espaciamiento de las pilas de apoyo, tipo de apoyo y detalle de soporte a la tubería, esfuerzos tipo viga continua generados, diseño del tubo y del soporte en las pilas de apoyo, protección de tuberías expuestas, expansión o contracción por cambios ambientales en la temperatura, diseño sísmico y aspectos de mantenimiento.

El diseñador debe contemplar como mínimo los anteriores aspectos del diseño de tuberías sobre pilas de apoyo siguiendo los criterios generales expuestos para tuberías enterradas. Debe considerar además los aspectos adicionales que a su juicio es necesario considerar para las condiciones específicas de instalación.

8. Consideraciones de diseño para ambientes corrosivos

Todas las tuberías de concreto a las que hace referencia este Título deben estar protegidas por el revestimiento de mortero de cemento al que se refieren las normas de fabricación de los diferentes tipos de tuberías. Bajo ciertas condiciones ambientales de uso, la habilidad del mortero para mantener un ambiente pasivador alrededor de los componentes de acero puede verse comprometida y puede requerirse protección anticorrosiva suplementaria.

Cuando se identifica alguna de las condiciones ambientales siguientes deben tomarse medidas de protección suplementaria contra la corrosión:

- Ambientes de alto contenido de cloro o interferencia de corrientes parásitas que puedan causar corrosión al acero embebido.
- Condiciones de alto contenido de sulfatos o de ácidos o contenido de dióxido de carbono agresivo en el suelo o en el agua subterránea que pueda afectar la matriz cementante del mortero de revestimiento o del concreto.
- Exposición atmosférica donde pueda ocurrir carbonatación de las superficies de mortero o concreto o cuando el exterior pueda verse sometido a ciclos de congelamiento y deshielo.

Cuando alguna de las condiciones anteriores pueda preverse o cuando se evidencien síntomas de corrosión debe realizarse un proceso de supervisión detallado para establecer un diagnóstico preciso del potencial de corrosión presente.

Cuando definitivamente se compruebe la potencialidad de un ambiente corrosivo severo que pueda afectar cualquiera de los materiales de la tubería deben tomarse las medidas de protección que a juicio del ingeniero sean las más convenientes para el caso particular bajo análisis.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguas de Cartagena S.A., E.S.P. Normalización de los Materiales y de las Instalaciones de Aguas de Cartagena Alcantarillado. Cartagena de Indias, Febrero de 1997.

American Society for Testing and Materials ASTM. 1997 Annual Book of ASTM Standards. Section 1. Iron and Steel Products. USA. 1997

American Society for Testing and Materials ASTM. 1997 Annual Book of ASTM Standards. Section 4. Construction. USA. 1997

American Society for Testing and Materials ASTM. 1997 Annual Book of ASTM Standards. Section 8. Plastics. USA. 1997

American Society of Civil Engineers. Gravity Sanitary Sewer Design and Construction. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice. 1982.

American Water Works Association. AWWA Manual of Water Supply Practices. AWWA M 23. PVC Pipe Design and Installation. USA. Jan. 1996

American Water Works Association. AWWA Manual of Water Supply Practices. AWWA M 11. Steel Pipe. A guide for Design and Installation. USA. Jan. 1996

American Water Works Association. AWWA Manual of Water Supply Practices. AWWA M 9. Concrete Pressure Pipe. USA. Jan. 1996

American Water Works Association. AWWA Standard for Pipe & Accessories. C104/A21.4-95 through C403-95. Ductile-Iron Pipe and Fittings, Steel Pipe, Concrete Pipe, Asbestos-Cement Pipe. USA. Jan. 1996.

American Water Works Association. AWWA Standard for Pipe Installation. C600-93 through C606-87. USA. Jan. 1996.

American Water Works Association. AWWA Standard for Plastic Pipe. C900-89 through C950-95. USA. Jan. 1996.

American Water Works Association. AWWA Standard for Storage. D100-96 through D130-96 USA. Jan. 1996.

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente. NSR-98. Ley 400 de 1997 y Decreto 33 de 1998. Tomo 4. Títulos H,I,J. 1998.

Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. Normas NLT. Centro de Estudios y Experimentación de Carreteras. 2a de. Santafé de Bogotá 1992.

Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, EAAB-ESP. Diseño, construcción y Materiales de Alcantarillado. Santafé de Bogotá, 1985.

Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, EAAB-ESP. Manual de Interventoría. Gerencia técnica. Noviembre de 1995

Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, EAAB-ESP. Programa Santafé I.

Empresas Municipales de Cali. Comité de Normas Técnicas de acueducto. Normas y especificaciones Técnicas de construcción para el sistema de acueducto de la ciudad de Cali. Diciembre de 1982.

Empresas Públicas de Medellín. Normas y Especificaciones Generales de Construcción. Diciembre de 1990.

Gas Natural E .S.P. Especificaciones técnicas para la construcción gasoducto urbano Santafé de Bogotá. Obras Mecánicas. VT- 026 Santafé de Bogotá. 1997.

Gas Natural E.S.P. Especificaciones Técnicas para la ejecución de obras civiles para la red de acero. VT - 025. Santafé de Bogotá. 1997.

Gas Natural E.S.P. Manual de Señalización de obras en redes de polietileno. VT-017 Santafé de Bogotá, 1997.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC. Normas Técnicas Colombianas. Santafé de Bogotá, Colombia. 1997.

Instituto de Desarrollo Urbano. Especificaciones de Construcción. Plan Vial Rotatorio de Valorización. Alcaldía Mayor de Bogotá. Subdirección de Construcciones. 1977.

Ministerio de Obras Públicas y Transporte MOPT. Normas para el Diseño de Alcantarillados. Normas Insfopal. Santafé de Bogotá, 1970.

Montejo Fonseca, Alfonso . Ingeniería de Pavimentos para Carreteras. Universidad Católica. Santafé de Bogota. 1997.

O'brien, James. Construction Inspection Handbook. Quality Assurance and Quality Control. 3r Edition. 1989

PAVCO. MANUAL TÉCNICO. Sistema de Tubería y Accesorios Presión.

PAVCO. MANUAL TÉCNICO. Sistemas de Tubería y Accesorios Alcantarillado W-Reten

Puyana, Germán. Control Integral de la Edificación. Tomo I Planeamiento y Tomo III Administración y mantenimiento, Ed. ESCALA 1.986.

Reyes, Fredy . Diseño de Pavimentos por Métodos Racionales. Universidad de Los Andes. Santafé de Bogota. Julio de 1997.

Sociedad de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Barranquilla S.A. Normas Para el Diseño y Construcción de Redes Locales y Domiciliarias de Acueducto y Alcantarillado. Junio de 1993.