



ANIPPAC

Asociación Nacional de Industriales del
Presfuerzo y la Prefabricación A.C

MANUAL DE DISEÑO DE ESTRUCTURAS PREFABRICADAS Y PRESFORZADAS



Índice

Prólogo	9
Reconocimientos	11
1. Introducción	25
2. Fundamentos del Pretensado y Postensado	29
2.1 Generalidades	29
2.2 Ventaja de los Sistemas Prefabricados	29
2.3 Concreto Reforzado	31
2.4 Concreto Presforzado	32
2.5 Pretensado y Postensado	33
2.5.1 Pretensado	34
2.5.2 Postensado	34
2.5.3 Elementos Pre y Postensados	34
2.6 Etapas de un elemento Presforzado: Pretensado y Postensado	35
2.6.1 Etapa de Transferencia	35
2.6.2 Estado Intermedio	36
2.6.3 Etapa Final	36
2.7 Revisión de los Estados Límite de Servicio	36
2.7.1 Estado de Esfuerzos	36
2.7.1.1 Esfuerzos Permisibles en el Concreto	37
2.7.1.2 Esfuerzos Permisibles en el Presfuerzo	38
2.7.2 Deflexiones	38
2.7.2.1 Deflexiones Iniciales	39
2.7.2.2 Deflexiones Finales	39
2.7.2.3 Deflexiones Permisibles	40
2.8 Pérdidas de Presfuerzo	40
2.8.1 Pérdidas Instantáneas o Inmediatas	41
2.8.1.1 Deslizamiento del Anclaje	41
2.8.1.2 Fricción	41
2.8.1.3 Desviación de Torones	42
2.8.1.4 Acortamiento Elástico	42
2.8.1.5 Relajación Instantánea	42
2.8.2 Pérdidas Diferidas o a Largo Plazo	42
2.8.2.1 Contracción	42
2.8.2.2 Flujo Plástico	43
2.8.2.3 Relajación Diferida	43
2.9 Requisitos de Diseño	44
2.9.1 Resistencia a Flexión y Flexocompresión	44
2.9.1.1 Hipótesis de Diseño	44
2.9.1.2 Índice de Presfuerzo	44
2.9.1.3 Esfuerzo en el Presfuerzo al Momento de la Falla	45

Índice

2.9.1.4 Momento Resistente en Vigas Rectangulares	45
2.9.1.5 Momento Resistente en Secciones T	46
2.9.1.6 Flexión por Compatibilidad de Deformaciones	47
2.9.1.7 Revisión por Acero Mínimo	48
2.9.1.8 Revisión por Acero Máximo	48
2.9.2 Diseño por Cortante y por Torsión	49
2.9.2.1 Tipos de Grietas	49
2.9.2.2 Obtención del Cortante Resistente	50
2.9.3 Refuerzo por Tensión Diagonal, V_s	51
2.9.4 Diseño por Cortante y Torsión	52
2.9.4.1 Recubrimiento	54
2.9.4.2 Separación entre Tendones	54
2.9.4.3. Anclaje del Acero y Longitud de Desarrollo	55
2.9.4.4 Refuerzo Adicional en las Paredes de las Vigas	56
2.9.4.5 Revisión del Izaje	56
2.9.4.6 Interacción entre el Elemento Prefabricado y el Firme	56
2.9.4.7 Aplicación y Medición de la Fuerza de Presfuerzo	58
2.9.4.8 Enductado para Elementos Preforzados: Pretensado y Postensado	58
2.9.4.9 Vigas Pretensadas en Claros Hiperestáticos	59
2.9.4.10 Columnas Pretensadas	61
2.9.4.11 Zonas de Anclaje de Elementos Postensados	61
2.9.4.12 Anclajes, Ductos y Acopladores para Postensado	61
2.9.4.13 Protección de Tendones de Presfuerzo	61
2.10 Tolerancia	62
2.10.1 Definiciones	62
2.10.2 Objetivos	62
2.10.3 Responsabilidad	63
2.10.4 Intervalo de Tolerancias	63
2.10.5 Tolerancias en Elementos Prefabricados	63
2.10.5.1 Tolerancias en el Trazo de los Ejes de la Obra	63
2.11 Ejemplo de Diseño	63
2.11.1 Solución	64
2.11.1.1 Cálculo por Relajación inmediata del Acero de Presfuerzo	64
2.11.1.2 Pérdida por Acortamiento Elástico	64
2.11.1.3 Deslizamiento del Anclaje	65
2.11.1.4 Desvío de Torones	65
2.11.1.5 Pérdidas Diferidas	65
2.11.3 Método Alternativo	71
3. Sistemas Estructurales Prefabricados Sometidos a Acciones Gravitacionales y Sísmicas	77
3.1 Elementos Prefabricados para Sistemas de Piso	77
3.1.1 Introducción	77
3.1.2 Sistemas de Piso a Base de Losas Alveolares	78
3.1.3 Sistema de Piso a Base de Trabes TT, ATT y T	79
3.1.4 Sistemas de Piso de Losa Doble T de Pequeño Peralte (H = 30 cm)	79
3.1.5 Vigueta Pretensada y Bovedilla	79
3.1.6 Sistema de Losa Aligerada BDM	80
3.1.7 Conexiones en Unidades Prefabricadas para Sistemas de Piso	81

Índice

3.1.7.1 Conexión Típica del Sistema de Vigueta Pretensada y Bovedilla	81
3.1.7.2 Conexiones Típicas de Sistemas de Losas de Placa Alveolar	82
3.1.7.3 Conexión Típica del Sistema de Losa Aligerada BDM	83
3.2 Conexión en Marcos	84
3.2.1 Conexiones Húmedas y Secas	85
3.2.2 Conexiones "Fuertes" Monolíticas	85
3.2.3 Ejemplos de Conexiones en Marcos de Concreto Prefabricado	86
3.3 Muros Estructurales Prefabricados	88
3.3.1 Ejemplos de Conexiones entre Muros Estructurales de Concreto Prefabricado	90
3.4 Diseño sísmico de Diafragmas en Edificios con Sistemas de Piso Prefabricados de Concreto	91
3.4.1 Introducción	91
3.4.2 Conceptos Generales del Comportamiento de Diafragmas	91
3.4.3 Criterios de Reglamentos para el Diseño Sísmico de Diafragmas	93
3.4.4 Aceleraciones de Piso	93
3.4.5 Fuerzas de Diseño de Diafragmas Incluyendo Cuerdas y Colectores	94
3.4.6 Diafragmas de Transferencia de Fuerzas Horizontales por Sismo	94
3.4.7 Colectores	94
4. Aislamiento y Amortiguamiento Sísmico	97
4.1 Introducción	97
4.2 Aislamiento Sísmico	97
4.3 Amortiguamiento Sísmico	100
4.4 Tendencias	102
5. Etapas de la Prefabricación	105
5.1 Introducción	105
5.2 Fabricación	105
5.2.1 Materiales	106
5.2.2 Equipo e Instalaciones	107
5.2.2.1 Plantas de Fabricación	108
5.2.2.2 Moldes	108
5.2.2.3 Mesas de Colado	109
5.2.2.4 Colocación del Concreto	110
5.2.2.5 Curado del Concreto	110
5.2.2.6 Equipo de Desmolde	111
5.2.2.7 Almacenaje	111
5.2.2.8 Planta para Losas Aligeradas Biaxiales BDM	112
5.2.3 Tolerancias en Dimensiones de Fabricación	113
5.3 Transporte	129
5.3.1 Aspectos Generales	129
5.3.2 Equipos de Transporte	129
5.3.3 Consideraciones Adicionales de Análisis	132
5.3.4 Restricciones de Pesos y Dimensiones	132
5.4 Montaje	136
5.4.1 Aspectos Generales	136
5.4.2 Equipos de Montaje	136
5.4.3 Accesorios y Herramientas	138
5.4.4 Procedimientos y Etapas de Montaje	139
5.4.4.1 Montaje de Elementos Verticales	139
5.4.4.2 Montaje de Elementos Horizontales	141

Índice

5.4.5 Normas de Seguridad en el Montaje	144
5.4.5.1 Reglamento y Normas de Seguridad de los Trabajadores en Obra	145
5.4.5.2 Capacitación del Personal para Trabajo en Alturas	145
5.4.6 Tolerancia y Holguras	146
5.4.7 Seguridad	146
5.4.7.1 Planos de Montaje	146
5.4.7.2 Accesos	146
5.4.7.3 Secuencia de la Obra	147
5.4.7.4 Dispositivos de Montaje	147
5.4.7.5 El aparejo de Estrobos	147
5.4.7.6 Cuidados de la Pluma	147
5.4.7.7 Líneas de Transmisión Eléctrica	147
5.4.7.8 Prevención de Descargas Eléctricas	147
5.4.7.9 Personal	147
5.4.7.10 Grúas con Carga en Movimiento	148
5.4.7.11 Obstrucciones	148
5.4.7.12 Señalización y Abanderamiento	148
5.4.7.13 Condiciones del Sitio de la Obra	149
5.4.8 Ciclos de Operación	149
5.4.8.1 Factores que Afectan la Productividad en el Montaje	150
6. Diseño de Puentes con Elementos Prefabricados y Presforzados	155
6.1 Aspectos Básicos	155
6.1.1 Geometría y Aspectos Arquitectónicos	155
6.1.2 Clasificación de Puentes	155
6.1.2.1 Clasificación por su Tipo y Uso	156
6.1.2.2 Clasificación por su Tamaño	157
6.1.2.3 Clasificación por su Estructuración	157
6.1.2.4 Clasificación por su Geometría	158
6.2 Puentes de Concreto	158
6.2.1 Estructura de un Puente Prefabricado	158
6.2.1.1 Superestructura	158
6.2.1.2 Subestructura	159
6.2.2 Secciones Típicas de Trabes Prefabricadas	159
6.2.2.1 Losas Extruidas o Alveolares Pretensadas	159
6.2.2.2 Vigas Sección T o Doble T	159
6.2.2.3 Vigas Sección I de AASHTO	160
6.2.2.4 Vigas de Tipo Nebraska	160
6.2.2.5 Vigas de Tipo Cajón Rectangulares o con Aletas	160
6.2.2.6 Trabes de Grandes Dimensiones	160
6.2.2.7 Puente con Dovelas	161
6.2.2.8 Puentes en Doble Cantiliver	161
6.3 Análisis y Diseño de Superestructuras de Puentes con Elementos Presforzados	161
6.3.1 Solicitaciones	161
6.3.1.1 Carga Muerta	161
6.3.1.2 Carga Viva	162
6.3.1.3 Distribución Lateral de Cargas	163
6.3.1.4 Impacto	164

Índice

6.3.2 Aspectos de Diseño de Elementos de la Superestructura	164
6.3.2.1 Vigas	164
6.3.2.2 Losas	165
6.3.2.3 Diafragmas	166
6.3.3 Subestructura de Puentes con Elementos de Concreto Prefabricados	166
6.3.3.1 Solicitaciones	166
6.3.3.2 Algunas Soluciones de Subestructuras con Elementos Prefabricados	170
6.4 Ejemplo de Diseño	171
7. Prefabricado de Concreto Arquitectónico	183
7.1 Introducción	183
7.2 Definiciones	183
7.2.1 Definición de Concreto	183
7.2.2 Definición de Concreto Arquitectónico	183
7.2.3 El concreto Arquitectónico Prefabricado	184
7.2.4 Los Prefabricados de Concreto Arquitectónico en México	185
7.3 El Concreto Arquitectónico Prefabricado y sus Ventajas	185
7.3.1 Versatilidad de Diseño	186
7.3.2 Tecnología y Sistemas en Constante Innovación	186
7.3.3 Rapidez	186
7.3.4 Durabilidad y Mínimo Mantenimiento	186
7.3.5 Alta Calidad	186
7.3.6 Costo-Eficiencia	186
7.3.7 Sustentabilidad y Medio Ambiente	186
7.4 Diseñando con Concreto Arquitectónico Prefabricado	186
7.4.1 Juntas y Buñas	190
7.4.2 Técnicas para Acabados, Texturas y Color en el Concreto	191
7.4.3 Autorización de Muestras	192
7.4.4 Paneles Sándwich Arquitectónicos-Estructurales	193
7.4.4.1 Modelos, Moldes y Tecnología	194
7.4.4.2 Planeación y Transporte	194
7.4.4.3 Logística, Instalación y Trabajos en Obra	194
7.4.4.4 Aplicaciones	195
7.5 Análisis y Diseño Estructural	195
7.5.1 Introducción	195
7.5.2 Consideraciones para el Redimensionamiento y Sistema de Conexión	195
7.5.3 Diseño de las Piezas	196
7.5.3.1 Estructuración	196
7.5.3.2 Especificaciones de los Materiales	196
7.5.3.3 Análisis Estructural de la Pieza	196
7.5.3.4 Determinación de las Dimensiones de las Nervaduras, del Espesor del Tablero y del Acero de Refuerzo	196
7.5.3.5 Detallado para la Elaboración de los Planos de Taller	199
7.5.3.6 Consideraciones por Viento	199
7.5.3.7 Consideraciones por Sismo	200
7.5.4 Diseño de Conexiones	201
7.5.4.1 Análisis Estructural y Sistemas de Conexión	202
7.5.4.2 Diseño y Tipo de Conexiones	202

Índice

7.5.4.3 Conexiones Soldadas	203
7.5.4.4 Conexiones Atornilladas	203
7.5.5 Interacción con la Estructura Principal de los Edificios Estructurales Adicionales	203
7.6 Sistemas de Producción	204
7.6.1 Tipos de Plantas	204
7.6.2 Organización de Plantas	205
7.6.3 Tecnología de Moldes	205
7.6.4 Diseño de Mezclas de Concreto Arquitectónico	206
7.6.5 Mezclado, Traslado, Vaciado y Vibrado del Concreto	207
7.6.6 Curado del Concreto	207
7.6.7 Equipo de Desmolde y Maquinaria para Manejo	208
7.6.8 Maquinaria de Patio	208
7.6.9 Estiba de Planta	208
7.7 Aspectos de Transporte	208
7.8 Planeación, Ejecución y Seguridad del Montaje	209
7.8.1 Planos de Montajes	210
7.8.2 Programas de Montaje	210
7.8.3 Grúas, Equipo y Accesorios	211
7.8.4 Maniobras Especiales	212
7.8.5 Limpieza	212
7.8.6 Control de Calidad en el Montaje	213
7.8.7 Control de Calidad del Calafateo	214
7.8.8 Supervisión de Operaciones, Grúas y Personal	214
7.9 Supervisión y Control de Calidad	214
7.9.1 Controles de Procesos	214
7.9.2 Consideraciones de los Materiales	215
7.10 Calafateo y Protección Hidrofuga	216
7.10.1 Calafateo de Juntas	216
7.10.2 Protección Hidrofuga	218
7.11 Normas y Tolerancias	218
7.11.1 Las Tolerancias del Concreto Arquitectónico Prefabricado	218
7.11.2 Ancho de las Juntas	219
7.11.3 Valoración del Concreto Arquitectónico	219
7.11.4 Prevención de Defectos	219
7.11.5 Causas de Imprecisiones y Variaciones	220
7.12 Aspectos Básicos del Mercado	220
7.12.1 Contrato	220
7.12.1.1 Conceptos Típicos y Unidades de Cobro de Mercado	220
7.12.2 Conceptos de Presupuesto	221
7.12.3 Conceptos Extraordinarios	221
7.12.4 Actualización de Precios	221
7.12.5 Reprogramación de Proyecto	221
7.12.6 Anticipos	221
7.12.7 Cláusula de Garantía	222

Índice

8. Materiales	225
8.1 Concreto	225
8.1.1 Componentes Básicos del Concreto	225
8.1.2 Requerimientos del Concreto en el Diseño de un Proyecto	226
8.1.3 Concreto de Alta Resistencia	228
8.1.4 Concreto de Alta Fluidéz	229
8.1.5 Concreto Autoconsolidable	230
8.1.6 Concreto Arquitectónico	232
8.1.7 Concreto de Contracción Controlada	234
8.1.8 Concreto Reforzado con Macrofibras	235
8.1.9 Concreto de Baja Permeabilidad	236
8.2 Acero	237
8.2.1 Acero de Refuerzo Ordinario	237
8.2.2 Malla Electrosoldada	238
8.2.3 Acero de Presfuerzo	239
8.2.4 Alambre	240
8.2.5 Torón	240
8.2.6 Varillas de Acero de Alineación	240
8.2.7 Características: Esfuerzo-Deformación del Acero de Presfuerzo	241
8.2.8 Perfiles Estructurales de Acero	241
8.2.9 Corrosión	242
8.3 Accesorios Metálicos	242
Anexo A	243
9. 50 Aniversario ANIPPAC, Pasado, Presente y Futuro de la Industria del Prefabricado y Presforzado en México	247
9.1 Introducción	247
9.2 Línea del Tiempo	247
9.3 Proyectos Principales	252
9.4 Tendencias de la Prefabricación y el Presfuerzo	292
Referencias	295