

# ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b>	17
<b>1. PLANTEAMIENTOS BÁSICOS EN REHABILITACIÓN EDIFICATORIA</b>	19
1.1. INTRODUCCIÓN A LA CONSOLIDACIÓN ESTRUCTURAL DE EDIFICIOS	19
1.2. PROCESO DE COMPROBACIÓN DE UNA ESTRUCTURA	20
1.2.1. Fase inicial de recogida de datos	22
1.2.2. Fase intermedia de obtención de esfuerzos asumibles por la estructura existente	27
1.2.3. Resultado del proceso	28
1.2.4. La redacción de un protocolo con el proceso de análisis a realizar	29
1.2.5. La elaboración del plan de catas, una estrategia necesaria	31
1.3. LA COMPROBACIÓN ESTRUCTURAL DE EDIFICIOS EXISTENTES SEGÚN LOS CRITERIOS DEL CÓDIGO TÉCNICO	32
1.3.1. La evaluación cuantitativa	33
1.3.2. La evaluación cualitativa	35
1.4. LA VIDA ÚTIL DE UN EDIFICIO	36
1.5. LA DURABILIDAD DE LA ESTRUCTURA RESULTANTE COMO CRITERIO FUNDAMENTAL AL PLANTEAR LA REHABILITACIÓN	37
1.6. EL RENDIMIENTO DE UNA SUCESIÓN DE REFUERZOS	37

<b>2. LOS MATERIALES PREEXISTENTES</b>	<b>39</b>
2.1. INTRODUCCIÓN	39
2.2. LOS MATERIALES PÉTREOS Y CERÁMICOS	40
2.2.1. La lógica de la construcción basada en la identificación de los esfuerzos de compresión	40
2.2.2. Los materiales estructurales y la construcción pétreo	42
2.2.3. Evolución histórica de las estructuras pétreas	44
2.2.4. Características resistentes y criterios de aceptación de los principales productos pétreos y cerámicos	50
2.3. LA MADERA	54
2.3.1. Evolución histórica del uso estructural de la madera	54
2.3.2. Clasificación básica de la madera	59
2.3.3. Comportamiento mecánico de la madera	59
2.3.4. Propiedades resistentes de la madera	61
2.3.5. Criterios de aceptación de la madera estructural existente	61
2.4. EL HIERRO Y EL ACERO	63
2.4.1. Introducción histórica al uso estructural de materiales ferrosos	63
2.4.2. Principales productos derivados del hierro	69
2.4.3. La intervención en edificios con estructura metálica	70
2.4.4. Los aceros actuales. Sus características resistentes	72
2.4.5. Criterios de aceptación del acero estructural existente	74
2.5. EL CASO PARTICULAR DE LA FUNDICIÓN	75
2.5.1. Introducción al material	75
2.5.2. Evolución histórica del uso de la fundición	76
2.5.3. La intervención en edificios con elementos de fundición	81
2.5.4. Comprobación y aceptación de los pilares de fundición	82
2.5.4.1. Método de Rankine	82
2.5.4.2. Método de Tetmajer	83
2.5.4.3. Método del coeficiente de pandeo ( $\omega$ )	83
2.5.4.4. Tabla de cálculo editada por Altos Hornos de Vizcaya	84
2.5.5. Introducción al refuerzo de pilares de fundición	86
2.6. EL HORMIGÓN	92
2.6.1. Los orígenes del hormigón	92

---

**ÍNDICE**

2.6.2.	Evolución histórica del uso estructural del hormigón	94
2.6.3.	Comprobación y aceptación de los elementos existentes de hormigón	99
<b>3.</b>	<b>INTERPRETACIÓN DEL CONJUNTO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES CON PRESENCIA HABITUAL EN UN PROCESO DE REHABILITACIÓN</b>	<b>103</b>
3.1.	INTRODUCCIÓN AL TEMA	103
3.2.	LOS MUROS PORTANTES	104
3.2.1.	Organización de las estructuras murarias	105
3.2.2.	Esquema estructural y materiales básicos	105
3.2.3.	Diferentes tipos de muro	107
3.2.3.1.	Clasificación en función del material empleado	107
3.2.3.2.	Diferenciación a partir de su planteamiento geométrico	110
3.2.3.3.	La consideración de su aparejo	114
3.3.	LAS COLUMNAS Y LOS MACHONES	114
3.4.	ELEMENTOS ESTRUCTURALES QUE TRABAJAN POR LA FORMA	116
3.4.1.	Los arcos	117
3.4.2.	Las bóvedas	124
3.4.3.	Las cúpulas	126
3.4.4.	Otras geometrías	128
3.5.	LAS VIGAS	129
3.6.	LOS TECHOS EN SU CONTEXTO TIPOLÓGICO	131
3.6.1.	Estructuras murarias	131
3.6.1.1.	Estructuras murarias con techos planos unidireccionales	131
3.6.1.2.	Estructuras murarias con techos abovedados	133
3.6.2.	Estructuras porticadas	133
3.6.3.	Estructuras con comportamiento tridimensional	135
3.6.3.1.	Estructuras con techos horizontales bidireccionales	135
3.6.3.2.	Mallas espaciales	136
3.7.	LOS TIRANTES Y OTROS ELEMENTOS TRACCIONADOS	137
<b>4.</b>	<b>OPERACIONES DE CONSOLIDACIÓN DE MUROS FRACTURADOS</b>	<b>139</b>
4.1.	LA DISCONTINUIDAD DE LOS MUROS	139
4.2.	EL LENGUAJE DE LAS GRIETAS	141
4.3.	LA REPARACIÓN DE GRIETAS Y FISURAS	145

4.4.	EL COSIDO ENTRE MUROS PERPENDICULARES DESCONECTADOS	150
4.5.	LA ESTABILIZACIÓN DE MUROS PORTANTES AFECTADOS POR ASENTAMIENTOS DEL TERRENO U OTRAS PATOLOGÍAS	154
4.6.	LA TÉCNICA DEL ESCANEADO PARA COMPRENDER EL COMPORTAMIENTO DE LOS MUROS	157
	ANEXO: TEORÍA CLÁSICA DE APOYO PARA FACILITAR LA INTERPRETACIÓN DE GRIETAS Y FISURAS	159
<b>5.</b>	<b>TÉCNICAS DE REFUERZO DE PILARES</b>	<b>207</b>
5.1.	INTRODUCCIÓN A LA NECESIDAD DEL REFUERZO	207
5.2.	LA MEJORA DE LA CAPACIDAD PORTANTE DE UN PILAR	215
5.2.1.	Por incremento de la carga de cálculo del pilar	215
5.2.2.	Por la necesidad de adaptación del edificio a diversas Normativas de obligada aplicación	215
5.2.3.	Por deficiencias del material del pilar	216
5.2.4.	Por un cálculo previo incorrecto de la estructura o del propio pilar	216
5.2.5.	Por manipulación de la geometría del edificio	216
5.2.6.	Para conservar la seguridad ante fenómenos posibles de inestabilidad	217
5.2.7.	Por causas ajenas a la propia estructura	217
5.3.	LA REPARACIÓN DE PILARES DAÑADOS	218
5.4.	TÉCNICAS DE REFUERZO: POSIBILIDAD DE SUSTITUCIÓN INTEGRAL DE UN PILAR	220
5.5.	REFUERZO POR ADICIÓN DE MATERIAL QUE SE SOLIDARIZA CON EL EXISTENTE	223
5.6.	REFUERZO POR INCORPORACIÓN DE UN PILAR NUEVO MÁS FIABLE QUE SE YUXTAPONA AL EXISTENTE	226
5.7.	DIFERENTES FORMAS DE REFUERZO POR ZUNCHADO	229
5.7.1.	Zunchado mediante aportación de una camisa de hormigón armado que envuelve el pilar inicial	231
5.7.2.	Zunchado mediante aportación de una camisa de fibras de carbono que envuelve el pilar inicial	233
5.7.3.	Zunchado mediante la aportación de una camisa metálica que enfaja el pilar inicial de manera continua	234
5.7.4.	Zunchado mediante la aportación de anillos metálicos que enfajan el pilar inicial de manera discontinua	236
5.7.5.	Zunchado mediante la aportación de perfiles LPN en las cuatro esquinas de los pilares	237

## ÍNDICE

5.7.6.	Zunchado unidireccional de un machón de fábrica por aportación de pilares metálicos adosados	241
5.8.	TRATAMIENTO DE PILARES METÁLICOS DE SECCIÓN CERRADA HUECA	242
5.9.	PRECAUCIONES CONSTRUCTIVAS A LO LARGO DEL PROCESO DE ENTRADA EN CARGA DEL PILAR REFORZADO	244
	ANEXO: EL EFECTO POISSON, UNA TEORÍA CLÁSICA NECESARIA PARA UNA CORRECTA COMPRESIÓN DE LOS REFUERZOS POR ZUNCHADO	245
<b>6.</b>	<b>TÉCNICAS DE REFUERZO DE VIGAS</b>	<b>255</b>
6.1.	INTRODUCCIÓN AL TEMA	255
6.2.	LA MEJORA DE LA CAPACIDAD PORTANTE DE UNA VIGA	260
6.2.1.	Por incremento de la carga de cálculo que debe soportar la viga	260
6.2.2.	Por la necesidad de adaptación del edificio a nuevas Normativas de obligada aplicación	260
6.2.3.	Por deficiencias del material con el que está construida la viga	261
6.2.4.	Por un cálculo previo incorrecto de la estructura o de una viga concreta, en particular	261
6.2.5.	Por una manipulación de la geometría del edificio que afecte a una determinada viga	261
6.2.6.	Para conservar la seguridad ante fenómenos posibles de inestabilidad	262
6.2.7.	Por causas ajenas a la propia estructura	262
6.3.	SISTEMAS DE SUSTITUCIÓN FUNCIONAL DEL ELEMENTO	263
6.4.	REPARACIÓN DE VIGAS ROBLONADAS	264
6.5.	RECONVERSIÓN DE UNA VIGA MONOMATERIAL EN VIGA MIXTA	271
6.5.1.	Algunas consideraciones prácticas que conciernen a este tipo de intervención	274
6.5.2.	Incorporación de fibras de carbono a la sección existente	276
6.6.	RECONVERSIÓN DE UNA VIGA MONOMATERIAL EN VIGA MIXTA, CON DESCONSIDERACIÓN FINAL DEL MATERIAL INICIAL	277
6.7.	TÉCNICAS DE MEJORA DE LA VIGA POR ADICIÓN DE PIEZAS METÁLICAS ACOPLADAS	279
6.7.1.	Acero sobre vigas de acero	279
6.7.2.	Acero sobre vigas de madera	293
6.7.3.	Acero sobre vigas de hormigón armado	296
6.7.4.	Acero sobre vigas de fábrica	301
6.8.	POSIBLES TÉCNICAS DE REFUERZO MEDIANTE POSTESADO	302

6.9.	LA INTRODUCCIÓN DE MECANISMOS EXTERNOS DE SUBTESADO. EL CASO CONCRETO DEL MECANISMO DE FINK	305
	ANEXO: BREVE INTRODUCCIÓN A LAS FUERZAS RASANTES QUE DEBE ABSORBER CADA CONECTOR	328
<b>7.</b>	<b>TÉCNICAS DE REFUERZO DE FORJADOS</b>	<b>339</b>
7.1.	INTRODUCCIÓN AL TEMA	339
7.2.	TIPOLOGÍAS Y MODELOS DE FORJADOS HABITUALES CON LOS QUE TRABAJAR EN UN PROCESO DE REHABILITACIÓN	342
7.3.	LA SUSTITUCIÓN FUNCIONAL LOCAL DE ALGÚN TRAMO DE FORJADO EN SITUACIÓN PRECARIA	345
7.4.	SISTEMAS DE SUSTITUCIÓN FUNCIONAL DE LOS FORJADOS	346
7.4.1.	Intervenciones de sustitución integral, con retirada de todas las viguetas	346
7.4.2.	Intervenciones de sustitución funcional con nuevos elementos dispuestos en paralelo, sin retirar las viguetas dañadas, que quedarán inactivas	347
7.4.3.	Intervenciones de sustitución funcional con nuevos elementos dispuestos debajo de las viguetas dañadas, que quedarán inactivas	348
7.4.4.	Intervenciones de complemento funcional mediante la técnica de parteluz, sin retirar las viguetas dañadas, que quedarán parcialmente activas	349
7.4.5.	Disposición de perfiles perpendiculares a la vigería debajo de las cabezas de apoyo, para mejorar las uniones	351
7.4.6.	Reconversión de un forjado monomaterial en forjado mixto	352
7.5.	TÉCNICAS DE MEJORA DE UN FORJADO POR ADICIÓN DE PIEZAS METÁLICAS ACOPLADAS	353
7.5.1.	Diferentes opciones, con aportación de piezas metálicas acopladas, para refuerzo de vigería de madera	353
7.5.1.1.	Acoplamiento de perfilería metálica complementaria, adosada por debajo a cada viga de madera	353
7.5.1.2.	Acoplamiento de perfilería metálica complementaria, adosada en las caras laterales de cada viga de madera	354
7.5.1.3.	Acoplamiento de perfilería metálica adosada lateralmente para el refuerzo exclusivo de las cabezas en mal estado	355
7.5.2.	Diferentes opciones de refuerzo de la vigería metálica por aportación de pletinas o perfiles	356

## ÍNDICE

7.5.2.1.	Acoplamiento de pletinas o perfiles de acero complementarios, adosados por debajo a cada vigueta metálica	356
7.5.2.2.	Acoplamiento de pletinas o perfiles de acero complementarios, adosados lateralmente a la vigueta metálica	357
7.5.3.	Diferentes opciones de refuerzo de vigería de hormigón mediante acoplamiento de piezas metálicas	358
7.5.3.1.	Acoplamiento de perfiles metálicos complementarios, adosados por debajo a cada vigueta de hormigón	359
7.5.3.2.	Acoplamiento de pletinas o perfiles metálicos complementarios, adosados lateralmente a cada nervio de hormigón	362
7.5.3.3.	Acoplamiento de pletinas metálicas, adosadas superiormente sobre la capa de compresión del forjado	363
7.6.	OTRAS TÉCNICAS DE MEJORA DEL FORJADO	366
7.6.1.	Alternativas de refuerzo para forjados con vigería de madera	366
7.6.1.1.	Acoplamiento de fibras de carbono en entallas longitudinales	366
7.6.1.2.	Sustitución local de las cabezas en mal estado, mediante aportación de nuevos tramos laterales de madera	367
7.6.1.3.	Sustitución local de las cabezas en mal estado, mediante aportación local de morteros especiales y varillas metálicas o de poliéster	367
7.6.1.4.	Aprovechamiento del actual forjado como encofrado perdido de una nueva losa de hormigón armado	369
7.6.1.5.	Conversión de viguetas isostáticas en viguetas continuas	370
7.6.1.6.	Disposición de tornapuntas para reducir los momentos flectores positivos máximos de las viguetas	370
7.6.1.7.	Disposición de mecanismos de postensado externo	371
7.6.1.8.	Disposición de barras transversales en forjados con viguetas solicitadas a flexión simple disimétrica	372
7.6.2.	Alternativas de refuerzo para forjados con vigería metálica	375
7.6.2.1.	Disposición de mecanismos de postensado externo	375
7.6.2.2.	Vaciado de los senos de los revoltones y aportación de hormigón armado como material envolvente	376
7.6.2.3.	Desdoblamiento de una vigueta lesionada	376
7.6.3.	Alternativas de refuerzo para forjados con viguetas, placas o nervios de hormigón armado o pretensado	377

7.7.	PRECAUCIONES CONSTRUCTIVAS A LO LARGO DEL PROCESO DE EJECUCIÓN DE LOS REFUERZOS DE FORJADOS	378
7.8.	MEJORA DEL MONOLITISMO DE LOS FORJADOS CON LOS MUROS	380
7.9.	DIFERENTES TÉCNICAS PARA PRACTICAR ABERTURAS EN UN FORJADO EXISTENTE	381
	ANEXO: REFUERZO DE TECHOS DE MADERA, AÑADIENDO UNA CAPA DE COMPRESIÓN DE HORMIGÓN ARMADO CONECTADA CON PIEZAS METÁLICAS	386
<b>8.</b>	<b>TÉCNICAS DE REFUERZO DE CIMENTACIONES EXISTENTES</b>	<b>397</b>
8.1.	TIPOLOGÍAS DE CIMIENTOS PRESUMIBLES EN REHABILITACIÓN	397
8.2.	TÉCNICAS DE AMPLIACIÓN DE LA BASE DE ZAPATAS	399
8.3.	TÉCNICAS DE REFUERZO DE LA BASE DE ZAPATAS CORRIDAS BAJO MUROS	403
8.4.	CAMBIO RADICAL DEL MECANISMO DE TRANSMISIÓN DE CARGAS AL TERRENO: LA TÉCNICA DEL MICROPILOTAJE	411
8.5.	TÉCNICAS DE MEJORA DEL TERRENO MEDIANTE INYECCIÓN DE MATERIALES ADECUADOS. LA TÉCNICA DEL JET-GROUTING	419
8.6.	CONTROLES PARA LA ENTRADA EN CARGA DE LA CIMENTACIÓN INTERVENIDA	421
8.7.	TÉCNICAS DE ESTABILIZACIÓN Y REFUERZO PARA MUROS DE CONTENCIÓN INTERNOS CON MAL COMPORTAMIENTO RESISTENTE	421
8.8.	UTILIZACIÓN OCASIONAL DE TÉCNICAS DE TABLESTACADO	425
8.9.	PLANTEAMIENTOS ESTRUCTURALES ANTE LA CONSTRUCCIÓN DE NUEVOS SÓTANOS BAJO EDIFICIOS EXISTENTES	427
	ANEXO: EJEMPLOS DE CONSTRUCCIÓN DE PLANTAS SUBTERRÁNEAS BAJO UN EDIFICIO EXISTENTE	430
<b>9.</b>	<b>TÉCNICAS DE APEO DE ELEMENTOS VERTICALES PORTANTES</b>	<b>453</b>
9.1.	GENERALIDADES SOBRE LA UTILIZACIÓN DEL ACERO EN LA REALIZACIÓN DE APEOS EN LA EDIFICACIÓN	453
9.2.	INCIDENCIA DEL CÓDIGO TÉCNICO EN LA PRÁCTICA DEL APEO EN EDIFICACIONES EXISTENTES CON ESTRUCTURA MURARIA	454
9.2.1.	En lo concerniente al módulo de elasticidad	455
9.2.2.	En lo concerniente a la resistencia característica a compresión	456
9.2.3.	En lo concerniente a la resistencia característica a tracción	457
9.2.4.	En lo concerniente a la resistencia característica a flexión	457
9.2.5.	En lo concerniente a la resistencia característica a cortante	458



---

**ÍNDICE**

9.2.6.	En lo concerniente a la deformabilidad de la fábrica	459
9.2.7.	En lo concerniente a la sección de cálculo a considerar	460
9.2.8.	En lo concerniente a la resistencia de cálculo de la fábrica a considerar	461
9.3.	CONSIDERACIONES PREVIAS AL INICIO DE TODO PROCESO DE APEO DE UNA PORCIÓN DE MURO	462
9.4.	RESOLUCIÓN DE APEOS SIMPLES, SIN PILARES INTERMEDIOS	466
9.4.1.	Factores variables a considerar	466
9.4.1.1.	Influencia de la amplitud de la abertura	466
9.4.1.2.	Influencia del espesor del muro	468
9.4.1.3.	Influencia del tipo de material básico constitutivo del muro	471
9.4.1.4.	Influencia de la intensidad de la carga recibida por el muro	472
9.4.1.5.	Influencia de la capacidad resistente a compresión del material del muro en la planta de apeo	472
9.4.1.6.	Influencia del estado de conservación general del muro	474
9.4.1.7.	Influencia de la posición del hueco respecto a la geometría de los muros en planta	474
9.4.1.8.	Influencia de las opciones geométricas de la estructura de apeo	475
9.4.1.9.	Influencia del acabado arquitectónico final de la estructura de apeo	475
9.4.2.	Ejercicios de cálculo de apeos simples	476
9.4.3.	El caso particular de la ampliación de una abertura	491
9.5.	TÉCNICAS CON PREFLEXIÓN DE LAS VIGAS DE APEO	491
9.6.	RESOLUCIÓN DE APEOS LINEALES DE MUROS DE CARGA, CON INTRODUCCIÓN DE NUEVOS PILARES INTERMEDIOS	498
9.7.	RESOLUCIÓN DE APEOS SIMPLES DE MUROS DE CARGA, CON INTRODUCCIÓN DE NUEVOS PILARES EN LOS EXTREMOS	501
9.8.	DIFERENTES TÉCNICAS DE APEO DE UN PILAR PUNTUAL	502
9.8.1.	Introducción opcional de nuevos pilares inferiores en los extremos de la viga de apeo	505
9.8.2.	Encamisado de los pilares existentes para facilitar la transmisión de su carga axil a la estructura de apeo	508
9.8.3.	Encamisado de los pilares existentes para recibir la estructura de apeo	509
9.8.4.	Aplicación de técnicas de subtensado para el apeo de un pilar	511
9.9.	APEO DE PILARES MÚLTIPLES EN UNA ÚNICA PLANTA	512

<b>10. INTERVENCIONES PROVISIONALES TENDENTES A MEJORAR LA ESTABILIDAD DEL EDIFICIO DURANTE SU PROCESO DE REHABILITACIÓN</b>	517
10.1. GENERALIDADES SOBRE LA UTILIZACIÓN DEL ACERO EN LA REALIZACIÓN DE OPERACIONES DE ESTABILIZACIÓN PROVISIONAL	517
10.2. CONSIDERACIONES PREVIAS PARA EL CÁLCULO DE ELEMENTOS DE APUNTALAMIENTO PROVISIONAL	519
10.3. APUNTALAMIENTO VERTICAL DE FORJADOS	520
10.4. APUNTALAMIENTO VERTICAL DE VIGAS	524
10.5. APUNTALAMIENTO VERTICAL DE FACHADAS	526
10.6. CRITERIOS DE CÁLCULO DE LOS APUNTALAMIENTOS VERTICALES	528
10.7. UTILIZACIÓN DE TORRES Y CIMBRAS	529
10.8. APUNTALAMIENTOS HORIZONTALES, CODALES Y ENTIBACIONES	530
10.9. CRITERIOS DE CÁLCULO DE LOS APUNTALAMIENTOS HORIZONTALES ENTRE MUROS MEDIANEROS O DE CONTENCIÓN.	537
10.10. APUNTALAMIENTOS EN EDIFICIOS QUE SE VACÍAN CONSERVANDO LAS FACHADAS	538
10.11. CRITERIOS DE CÁLCULO DE LOS APUNTALAMIENTOS ENTRE FACHADAS DE EDIFICIOS QUE SE VACÍAN	544
10.12. TÉCNICAS DE OPTIMIZACIÓN DE LAS UNIONES ENTRE LAS FACHADAS QUE SE CONSERVAN Y LA NUEVA ESTRUCTURA	548
10.13. TÉCNICAS DE CONTRAFUERTE PARA ESTABILIZAR ELEMENTOS VERTICALES QUE HAN INICIADO UN PROCESO DE VUELCO	552
10.14. INTRODUCCIÓN DE BARRAS HORIZONTALES DE ACERO PARA ESTABILIZAR LAS FACHADAS DESDE EL EXTERIOR	556
10.15. INTRODUCCIÓN DE ANILLOS DE TRACCIÓN PARA LA ESTABILIZACIÓN DE CÚPULAS	559
10.16. ESTABILIZACIÓN DE EDIFICIOS POR APORTACION DE CRUCES METÁLICAS DE GRAN POTENCIA QUE CUBREN EXTERIORMENTE AMPLIAS ZONAS DE FACHADA	564