



CURSO/GUÍA PRÁCTICA CONTROL DE CALIDAD EN INGENIERÍA QA/QC LABORATORIO DE OBRA, TRAZABILIDAD Y CONTROL DOCUMENTAL



Índice

¿QUÉ APRENDERÁ?.....	22
Introducción.	23
PARTE PRIMERA.	25
Fundamentos del control de calidad QA/QC en ingeniería	25
Capítulo 1: Conceptos esenciales de control de calidad QA/QC en proyectos de ingeniería 25	
1. Marco general de la calidad en ingeniería y construcción	25
a. Concepto de calidad, requisitos del cliente y partes interesadas	25
b. Diferencia entre aseguramiento de la calidad (QA) y control de la calidad (QC)	26
c. Enfoque basado en procesos y ciclo de vida del proyecto	27
2. Objetivos del sistema QA/QC en proyectos de ingeniería	28
a. Prevención de errores frente a detección de defectos	28
b. Relación entre QA/QC, coste de calidad y rentabilidad del proyecto	29
c. Calidad, plazo, seguridad y sostenibilidad como ejes integrados	30
3. Fases del proyecto y prioridades de QA/QC	30
a. Estudios y diseño: revisión técnica y control documental.....	30
b. Fase de obra: laboratorio de obra, inspecciones y ensayos.....	31
c. Puesta en servicio, operación y mantenimiento	32
4. Marco normativo y estándares internacionales aplicables al QA/QC	33
a. Sistemas de gestión de la calidad (ISO 9001 y similares)	33
b. Normas de laboratorios de ensayo (ISO/IEC 17025 y equivalentes)	33
c. Especificaciones técnicas y normas sectoriales	34
5. El control de calidad en los contratos de ingeniería y obra	35
a. Obligaciones de calidad en contratos de proyecto y construcción	35
b. Requisitos de calidad en pliegos, especificaciones y anexos técnicos	35
c. Relación entre QA/QC, riesgos contractuales y reclamaciones.....	36
6. Organización del manual de calidad y la documentación QA/QC	37
a. Política y objetivos de calidad de la organización	37
b. Manual, procedimientos, instrucciones técnicas y registros	37
c. Integración con sistemas de gestión ambiental y de seguridad	38
Capítulo 2: Organización, roles y cultura de calidad en proyectos de ingeniería	40
1. Estructura organizativa del control de calidad QA/QC	40
a. Figura del responsable de calidad y coordinador QA/QC de obra	40
b. Técnicos de laboratorio, inspectores de obra y jefes de producción.....	41
c. Relación entre promotor, proyectistas, constructores y laboratorios externos	42
2. Asignación de responsabilidades y autoridad en QA/QC	43
a. Matrices de responsabilidades (RACI) en calidad de obra	43
b. Autoridad para parar trabajos (hold points) y gestionar no conformidades	44
c. Delegación y supervisión de las tareas de control de calidad	45
3. Cultura de calidad y liderazgo en ingeniería	45
a. Liderazgo visible y compromiso de la dirección	45

b. Comunicación interna, reuniones de calidad e informes periódicos	46
c. Estímulos, reconocimiento y gestión de resistencias	47
4. Competencias y formación en QA/QC para equipos de obra.....	47
a. Perfiles profesionales y conocimientos mínimos en QA/QC	47
b. Plan anual de formación técnica en laboratorio, ensayos y documentación.....	48
c. Evaluación de competencias y reciclaje profesional	49
5. Coordinación entre calidad, planificación, riesgos y prevención.....	49
a. Integración de QA/QC con planificación de obra (cronograma)	49
b. Relación entre QA/QC y gestión de riesgos técnicos	50
c. Coordinación con seguridad y salud, medio ambiente y compliance	50
6. Comunicación con el cliente y las partes interesadas en temas de calidad	51
a. Reuniones de arranque, seguimiento y cierre en materia de QA/QC	51
b. Informes de calidad, paneles de indicadores y visitas de inspección.....	52
c. Gestión de quejas, reclamaciones y expectativas del cliente.....	52
PARTE SEGUNDA.....	54
Planificación de la calidad, ITP y gestión de riesgos.....	54
Capítulo 3: Plan de calidad de obra y planificación del control QA/QC	54
1. Contenido y estructura del Plan de Calidad de la obra	54
a. Objetivos, alcance y definición del proyecto.....	54
b. Organización, recursos y responsabilidades de QA/QC	55
c. Documentos de referencia, normas y especificaciones aplicables.....	56
2. Identificación de procesos críticos y puntos de control	57
a. Análisis de procesos constructivos y su criticidad	57
b. Mapa de procesos de obra y su correlación con QA/QC.....	58
c. Priorización de controles según impacto en seguridad, coste y plazo	58
3. Enfoque basado en riesgos para el control de calidad	59
a. Identificación y evaluación de riesgos de calidad.....	59
b. Herramientas (matrices de riesgo, AMFE/FMEA, etc.).....	60
c. Planes de tratamiento y seguimiento de riesgos.....	61
4. Planificación de inspecciones, ensayos y recursos QA/QC.....	62
a. Definición del programa de inspecciones y ensayos (frecuencias, lotes).....	62
b. Dimensionamiento del laboratorio de obra y personal necesario	62
c. Planificación de equipos, medios auxiliares y subcontratas de ensayo	63
5. Integración del Plan de Calidad con la planificación de obra	64
a. Vinculación con hitos, fases y unidades de obra	64
b. Paquetización de controles por frentes de trabajo	64
c. Reprogramación de actividades QA/QC ante cambios de obra	65
6. Aprobación, difusión y revisión del Plan de Calidad.....	66
a. Proceso de revisión interna y validación por la dirección	66
b. Aprobación del cliente y coordinación con su sistema de calidad	66
c. Revisiones, actualizaciones y control de versiones	67
Capítulo 4: Planes de inspección y ensayo (ITP), hold points y witness points	68
1. Concepto y finalidad de los Planes de Inspección y Ensayo (ITP)	68
a. Definición, alcance y ventajas de los ITP en QA/QC	68

b. Relación entre ITP, Plan de Calidad y especificaciones técnicas	69
c. Matriz de ITP por actividades, lotes y ubicaciones	70
2. Estructura tipo de un ITP de obra	70
a. Descripción del ítem de control y criterio de aceptación	70
b. Tipo de inspección (visual, documental, ensayo, pruebas funcionales)	71
c. Responsable, frecuencia, muestreo y registro asociado	72
3. Hold points, witness points y notification points	73
a. Definición y diferencia entre hold, witness y puntos de notificación	73
b. Situación de los hold points en procesos críticos de obra	74
c. Procedimiento de liberación de hold points y trazabilidad de aprobaciones	75
4. Coordinación de los ITP con el cliente y la dirección facultativa	75
a. Propuesta y negociación de ITP con el cliente o supervisión	75
b. Planificación de testigos de ensayos, visitas y pruebas de servicio	76
c. Gestión de comentarios, objeciones y modificaciones de ITP	77
5. Emisión, control de versiones y archivo de ITP	77
a. Codificación, formato y estándar corporativo de ITP	77
b. Control documental de versiones y distribución a los equipos	78
c. Archivo, conservación y consulta de ITP durante y después de la obra	78
6. Ejemplos aplicados de ITP en distintas unidades de obra	79
a. ITP de movimiento de tierras y compactación	79
b. ITP de estructuras de hormigón y acero	80
c. ITP de instalaciones mecánicas, eléctricas y de climatización	80
PARTE TERCERA.	82
Laboratorio de obra y control de materiales	82
Capítulo 5: Laboratorio de obra: organización, acreditación y gestión técnica	82
1. Tipologías de laboratorios de obra en proyectos de ingeniería	82
a. Laboratorios propios en obra	82
b. Laboratorios externos y concertados	83
c. Esquemas mixtos y colaboraciones especializadas	84
2. Organización interna y recursos del laboratorio de obra	85
a. Distribución de espacios, seguridad y condiciones ambientales	85
b. Instrumentación, equipos de ensayo y mantenimiento	86
c. Dotación de personal, perfiles y turnos de trabajo	87
3. Sistema de calidad del laboratorio y acreditación	88
a. Requisitos habituales de acreditación (ISO/IEC 17025 o equivalentes)	88
b. Procedimientos de ensayo, incertidumbre y validación de métodos	88
c. Auditorías internas y externas al laboratorio	89
4. Gestión de equipos de medida y calibración	90
a. Inventario de equipos y trazabilidad metrológica	90
b. Calibraciones, verificaciones intermedias y ajustes	91
c. Registros de calibración y criterios de aceptación/rechazo	91
5. Seguridad, salud y medio ambiente en el laboratorio de obra	92
a. Identificación de riesgos específicos de laboratorio	92
b. Gestión de residuos, productos químicos y emisiones	92
c. Formación en seguridad y simulacros de emergencia	93

6. Digitalización y herramientas de gestión del laboratorio	94
a. Sistemas LIMS y bases de datos de ensayos.....	94
b. Integración con el control documental y la planificación de obra	94
c. Informes automáticos, paneles de indicadores y trazabilidad digital	95
Capítulo 6: Muestreo, ensayos y control de materiales en obra	96
1. Principios generales del muestreo y preparación de muestras.....	96
a. Representatividad de muestras y tamaño de lotes	96
b. Puntos de toma de muestra y condiciones de conservación	97
c. Etiquetado, codificación y cadena de custodia.....	98
2. Control de suelos y movimiento de tierras	99
a. Ensayos de identificación y clasificación de suelos	99
b. Control de compactación y capacidad portante	100
c. Estabilidad de taludes, rellenos y plataformas	100
3. Control de áridos, hormigones y morteros	101
a. Ensayos de áridos (granulometría, desgaste, limpieza, etc.).....	101
b. Control del hormigón fresco y endurecido (resistencia, durabilidad).....	102
c. Control de morteros y productos prefabricados	103
4. Control de mezclas bituminosas y firmes	104
a. Ensayos de ligantes bituminosos y mezclas en planta y obra	104
b. Densidad, compactación y regularidad superficial.....	104
c. Control de capas de firme, sellados y rehabilitaciones	105
5. Control de aceros, estructuras metálicas y elementos especiales.....	106
a. Identificación, certificación y recepción de aceros	106
b. Ensayos mecánicos, soldaduras y tratamientos superficiales	106
c. Control de elementos prefabricados y anclajes especiales	107
6. Evaluación de resultados de ensayo y toma de decisiones.....	108
a. Comparación con especificaciones y criterios de aceptación	108
b. Gestión de resultados dudosos o conflictivos	108
c. Decisión sobre retrabajos, refuerzos o demoliciones parciales	109
PARTE CUARTA.	111
Trazabilidad técnica y control documental QA/QC.....	111
Capítulo 7: Trazabilidad de materiales, ensayos y procesos en proyectos de ingeniería ...	111
1. Concepto de trazabilidad aplicado al control de calidad QA/QC.....	111
a. Trazabilidad hacia adelante y hacia atrás en obra.....	111
b. Relación entre trazabilidad, seguridad y responsabilidad legal	112
c. Matrices de trazabilidad (materiales, ensayos y ubicaciones)	113
2. Codificación y etiquetado de materiales y elementos.....	114
a. Sistemas de códigos, lotes y series	114
b. Etiquetas físicas, códigos de barras y QR	115
c. Integración con almacenes, producción y montaje	115
3. Trazabilidad de muestras y resultados de ensayo.....	116
a. Número único de muestra y vínculo con el lote de origen.....	116
b. Registro de la historia de la muestra (recogida, transporte, ensayo)	117
c. Vinculación de resultados de ensayo con ubicaciones y elementos de obra	117

4. Trazabilidad de actividades y registros de inspección	118
a. Partes de inspección, checklists y partes de conformidad	118
b. Vinculación con ITP, planos y órdenes de trabajo	119
c. Seguimiento de liberaciones de tramos, elementos y sistemas	119
5. Herramientas digitales para la gestión de la trazabilidad	120
a. Bases de datos, aplicaciones móviles y sistemas en la nube	120
b. Integración con BIM, GIS y plataformas de obra	121
c. Seguridad de la información y copias de respaldo	121
6. Auditoría de la trazabilidad y preparación ante reclamaciones	122
a. Documentación mínima necesaria para defender la calidad ejecutada	122
b. Simulacros de auditoría y verificación de trazabilidad	122
c. Uso de la trazabilidad en peritaciones, arbitrajes y litigios	123
Capítulo 8: Control documental de calidad y gestión de registros QA/QC	124
1. Tipología de documentos y registros de calidad en ingeniería	124
a. Procedimientos, instrucciones técnicas y guías de ensayo	124
b. Formatos, plantillas y formularios (laboratorio y obra)	125
c. Registros de inspecciones, ensayos, no conformidades y auditorías	126
2. Sistema de control documental en proyectos de ingeniería	126
a. Codificación y clasificación de documentos QA/QC	126
b. Reglas de revisión, aprobación y distribución	127
c. Archivo, conservación y plazos de retención de documentación	128
3. Plataformas digitales y entornos comunes de datos (CDE)	129
a. Requisitos de un CDE para gestión de la calidad	129
b. Roles de acceso, permisos y seguridad de la información	129
c. Flujo de trabajo (workflows) para revisión y aprobación de documentos	130
4. Integración de QA/QC con BIM y modelos digitales	131
a. Vínculos entre elementos del modelo y registros de calidad	131
b. Uso del modelo BIM para planificar inspecciones y ensayos	131
c. As-built digital y entrega de documentación al final de la obra	132
5. Trazabilidad documental y control de versiones	132
a. Historial de cambios, firmas y sellos digitales	132
b. Gestión de copias obsoletas y control de documentación en campo	133
c. Auditoría del sistema documental y evidencias electrónicas	133
6. Informes de calidad y comunicación formal con el cliente	134
a. Informes periódicos de QA/QC, informes de laboratorio y de seguimiento	134
b. Presentación de resultados, gráficos e indicadores	135
c. Cierre documental de proyecto y lecciones aprendidas	135
PARTE QUINTA.	137
No conformidades, auditorías y mejora continua	137
Capítulo 9: Gestión de no conformidades, acciones correctivas y cierre	137
1. Identificación y tipificación de no conformidades en obra	137
a. No conformidades de producto, de proceso y documentales	137
b. Clasificación por criticidad (críticas, mayores, menores)	138
c. Detección interna vs. detección por el cliente o supervisión	139

2. Procedimiento de gestión de no conformidades	140
a. Emisión de informe de no conformidad (NCR)	140
b. Contención inmediata y decisiones sobre trabajos en curso	141
c. Comunicación con los intervinientes y bloqueo de liberaciones.....	142
3. Análisis de causas y definición de acciones	142
a. Análisis causa raíz (5 porqués, Ishikawa u otros métodos)	142
b. Acciones correctivas, preventivas y de mejora	143
c. Priorización de acciones en función del riesgo y el coste	144
4. Implantación, seguimiento y verificación de eficacia	145
a. Responsables y plazos de implantación de acciones.....	145
b. Verificación de eficacia y seguimiento en el tiempo	145
c. Cierre formal de no conformidades y archivo de evidencias	146
5. Integración de las no conformidades en la gestión del proyecto	147
a. Impacto en costes, plazos y relación con el cliente	147
b. No conformidades repetitivas y programas específicos de mejora	148
c. Indicadores de no conformidades y cuadros de mando	148
6. Lecciones aprendidas y prevención de recurrencias	149
a. Revisión periódica de no conformidades significativas	149
b. Actualización de procedimientos, ITP y especificaciones.....	150
c. Difusión interna de lecciones aprendidas y buenas prácticas	150
Capítulo 10: Auditorías, indicadores de calidad y mejora continua en QA/QC	152
1. Tipos de auditorías de calidad en proyectos de ingeniería	152
a. Auditorías internas de sistema y de proyecto	152
b. Auditorías del cliente y de entidades externas	153
c. Auditorías a proveedores, subcontratas y laboratorios	154
2. Planificación y ejecución de auditorías	155
a. Programa anual de auditorías y selección de muestras	155
b. Equipo auditor, entrevistas y revisión de evidencias	155
c. Informes de auditoría, hallazgos y clasificaciones	156
3. Indicadores clave (KPIs) de calidad en proyectos de ingeniería	157
a. Indicadores de proceso (inspecciones, ensayos, rechazos, retrabajos)	157
b. Indicadores de resultado (no conformidades, reclamaciones, siniestros)	158
c. Relación entre calidad, coste y productividad	159
4. Revisión por la dirección y decisiones de mejora	160
a. Reuniones de revisión de datos de calidad	160
b. Priorización de proyectos de mejora (coste de la no calidad).....	160
c. Seguimiento y verificación de la eficacia de las mejoras	161
5. Herramientas de mejora continua aplicadas a QA/QC	162
a. Círculos de mejora y grupos de trabajo técnicos	162
b. Técnicas Lean, 5S y otras metodologías aplicadas a laboratorio y obra	163
c. Estandarización de soluciones y creación de buenas prácticas	164
6. Benchmarking y aprendizaje entre proyectos.....	165
a. Comparación de indicadores entre obras y organizaciones.....	165
b. Bancos de datos de incidencias, soluciones y checklists	166
c. Incorporación de innovaciones y nuevas tecnologías de control	167



PARTE SEXTA.168

QA/QC por tipología de proyecto y especialidad técnica168

Capítulo 11: Control de calidad QA/QC en edificación: estructura, envolvente y acabados168

1. Particularidades del QA/QC en proyectos de edificación168

- a. Riesgos habituales de calidad en edificios..... 168
- b. Coordinación entre arquitectura, estructuras e instalaciones 169
- c. Requisitos de confort, seguridad y eficiencia energética 170

2. Control de calidad de cimentaciones y estructuras171

- a. Ensayos de control geotécnico y de cimentaciones 171
- b. Control del hormigón estructural y armaduras..... 172
- c. Control de estructuras metálicas y prefabricados 172

3. Control de calidad de la envolvente del edificio173

- a. Fachadas, cubiertas y encuentros críticos 173
- b. Estanqueidad al agua y al aire, puentes térmicos 174
- c. Ensayos de campo (blower door, termografías u otros) 175

4. Control de tabiquería, revestimientos y acabados176

- a. Tolerancias, planeidad y alineaciones 176
- b. Revestimientos interiores y exteriores, pavimentos..... 176
- c. Calidad percibida por el usuario final 177

5. Coordinación con instalaciones durante la obra178

- a. Huecos, pasos y reservas para MEP 178
- b. Pruebas de servicio y compatibilidad entre sistemas 179
- c. Ensayos finales de recepción conjunta 180

6. Documentación de calidad específica de edificación180

- a. Actas de replanteo, certificaciones y ensayos específicos 180
- b. Manual de uso y mantenimiento del edificio 181
- c. Dossier final de calidad y entrega al cliente 182

Capítulo 12: Control de calidad QA/QC en obras lineales y urbanas183

1. Particularidades del QA/QC en carreteras, ferrocarriles y obras urbanas183

- a. Riesgos de calidad en trazado, explanaciones y drenajes 183
- b. Condicionantes de tráfico, fases de obra y seguridad vial 184
- c. Coordinación con servicios urbanos existentes..... 185

2. Control geométrico y topográfico186

- a. Replanteos, alineaciones y cotas de proyecto 186
- b. Controles de curvaturas, rasantes y peraltes 187
- c. Verificación de secciones tipo y anchuras útiles..... 187

3. Control de tierras, explanadas y firmes188

- a. Ensayos de compactación y módulos de deformación 188
- b. Control de capas granulares y tratadas..... 189
- c. Control de mezclas bituminosas y hormigón en firmes..... 190

4. Drenaje, estructuras menores y elementos de seguridad191

- a. Control de cunetas, colectores y obras de drenaje transversal 191
- b. Control de muros, pantallas y obras de fábrica..... 192
- c. Señalización, balizamiento, defensas y barreras de seguridad 192

5. QA/QC en urbanizaciones y servicios urbanos.....	193
a. Redes de abastecimiento, saneamiento y pluviales.....	193
b. Redes eléctricas, telecomunicaciones y alumbrado.....	194
c. Pavimentos urbanos, mobiliario y zonas verdes	194
6. Documentación de calidad en proyectos lineales	195
a. Registros de control de tramos y unidades de obra.....	195
b. Planos as-built de trazado, servicios y estructuras	196
c. Entrega al gestor de la infraestructura y explotación.....	196

Capítulo 13: Control de calidad QA/QC en instalaciones MEP e infraestructuras industriales198

1. Riesgos de calidad en instalaciones mecánicas, eléctricas y de proceso	198
a. Especificaciones técnicas y criticidad de sistemas MEP	198
b. Coordinación 3D y conflictos de instalaciones	199
c. Requisitos de seguridad, continuidad de servicio y redundancia.....	200
2. QA/QC en instalaciones mecánicas y de climatización	201
a. Control de materiales (tuberías, equipos, valvulería)	201
b. Ensayos de presión, estanqueidad y limpieza de redes	202
c. Puesta en marcha y equilibrado de sistemas HVAC	202
3. QA/QC en instalaciones eléctricas y de automatización.....	203
a. Recepción de cables, cuadros y equipos de potencia	203
b. Ensayos de aislamiento, impedancia y protecciones	204
c. Sistemas de control, automatización y supervisión.....	205
4. QA/QC en instalaciones especiales e industriales	205
a. Redes de gases, fluidos de proceso y sistemas críticos	205
b. Salas blancas, laboratorios y entornos de alta exigencia	206
c. Ensayos funcionales y pruebas integradas	207
5. Commissioning y pruebas de rendimiento	207
a. Plan de pruebas y protocolos de commissioning	207
b. Pruebas integradas de sistemas y verificación de prestaciones	208
c. Documentación de commissioning y entrenamiento de operadores	209
6. Dossier de calidad y documentación de instalaciones.....	209
a. Esquemas, certificados, protocolos de ensayo y calibraciones.....	209
b. Manuales de operación y mantenimiento	210
c. Entrega final al cliente y soporte en el periodo inicial de operación.....	210

PARTE SÉPTIMA.212

HERRAMIENTAS DE CONTROL DE CALIDAD EN INGENIERÍA QA/QC: LABORATORIO DE OBRA, TRAZABILIDAD Y CONTROL DOCUMENTAL. CHECKLISTS Y FORMULARIOS QA/QC.....212

Capítulo 14: Checklists generales de control de calidad en proyectos de ingeniería212

CHECKLIST Nº 14.01 — Plan de Calidad de obra	212
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	212
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble y del contrato	213
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas del Plan de Calidad	214
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	215
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	216
Sección 6. Costes, importes y garantías del sistema QA/QC.....	217
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	217

Sección 8. Evidencias y referencias asociadas al Plan de Calidad	218
CHECKLIST Nº 14.02 — Revisión de ITP y matriz de riesgos QA/QC	219
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	219
Sección 2. Datos del proyecto y de los ITP/matriz de riesgos	220
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas sobre ITP y matriz de riesgos	221
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo asociados a ITP y matriz de riesgos	222
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes de revisión de ITP y matriz de riesgos	223
Sección 6. Costes, importes y recursos asociados a la gestión de ITP y riesgos	223
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI) en la revisión de ITP y matriz de riesgos	224
Sección 8. Evidencias, registros y referencias	225
CHECKLIST Nº 14.03 — Recursos mínimos de laboratorio y QA/QC de obra	225
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	226
Sección 2. Datos del laboratorio de obra y del sistema QA/QC	226
Sección 3. Recursos humanos mínimos de laboratorio y QA/QC	227
Sección 4. Recursos materiales y equipos mínimos del laboratorio de obra	228
Sección 5. Recursos de PRL, medio ambiente y aseguramiento normativo vinculados al laboratorio	229
Sección 6. Costes, importes y dimensionamiento económico de recursos QA/QC	230
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI) sobre recursos mínimos de laboratorio y QA/QC	230
Sección 8. Evidencias, referencias y seguimiento de recursos QA/QC	231
CHECKLIST Nº 14.04 — Control documental de calidad en obra	232
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	232
Sección 2. Datos del sistema de control documental y del repositorio	233
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas del control documental	233
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo relacionados con documentación	234
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes documentales	235
Sección 6. Costes, importes y recursos asociados al control documental	235
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI) del sistema de control documental	236
Sección 8. Evidencias, registros y referencias del control documental	237
CHECKLIST Nº 14.05 — Codificación, archivo y control de versiones de documentación QA/QC	237
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	238
Sección 2. Datos del sistema de codificación y archivo (CDE/DMS)	238
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas de codificación y control de versiones	239
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo en archivo y versiones	240
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes relacionados con archivo y versiones	241
Sección 6. Costes, importes y recursos asociados al sistema de codificación y versiones	242
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI) sobre codificación, archivo y versiones	242
Sección 8. Evidencias, registros y referencias asociadas	243
CHECKLIST Nº 14.06 — Trazabilidad de muestras y ensayos de obra	244
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	244
Sección 2. Datos del sistema de trazabilidad de muestras y ensayos	245
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas de la trazabilidad	246
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo asociados a muestras y ensayos	247
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes de toma de muestras y ensayos	247
Sección 6. Costes, importes y recursos asociados a la trazabilidad de muestras y ensayos	248
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI) del sistema de trazabilidad	249
Sección 8. Evidencias, registros y referencias de trazabilidad	250
Capítulo 15: Formularios y plantillas para laboratorio de obra, ensayos y trazabilidad ...	251
FORMULARIO Nº 15.01 — Solicitud de ensayo de laboratorio con datos de muestra	251
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	251

Sección 2. Datos del activo/unidad de obra y de la muestra	252
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas de los ensayos solicitados	253
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo relacionados con los ensayos	254
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes de la solicitud de ensayo	254
Sección 6. Costes, importes y garantías asociados a los ensayos	255
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI) de la solicitud de ensayo	255
Sección 8. Evidencias y referencias asociadas a la solicitud	256
FORMULARIO Nº 15.02 — Registro de recepción de muestras y custodia	257
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	257
Sección 2. Datos de la muestra y de la unidad de obra asociada	258
Sección 3. Recepción física en laboratorio y verificaciones técnicas básicas	258
Sección 4. Registro de cadena de custodia interna y de almacenamiento	259
Sección 5. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo durante la recepción y custodia	260
Sección 6. Plazos, hitos y condicionantes relacionados con la recepción y custodia	260
Sección 7. Costes, importes y asignación económica de la recepción y custodia	261
Sección 8. Aprobaciones, firmas y evidencias asociadas a la recepción y custodia	261
FORMULARIO Nº 15.03 — Hoja de resultados de ensayo y validación de laboratorio	262
Sección 1. Identificación general del ensayo y del proyecto	263
Sección 2. Datos de la muestra, de la unidad de obra y del método de ensayo	263
Sección 3. Resultados numéricos del ensayo y parámetros derivados	264
Sección 4. Evaluación frente a criterios de aceptación y riesgos asociados	265
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes operativos derivados de los resultados	265
Sección 6. Costes, importes y aspectos económicos asociados a los resultados	266
Sección 7. Validación, veredicto final y firmas (RACI)	267
Sección 8. Evidencias, anexos y referencias cruzadas	267
FORMULARIO Nº 15.04 — Parte de muestreo con ubicación y condiciones	268
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	269
Sección 2. Datos del material, de la unidad de obra y de la muestra	269
Sección 3. Ubicación exacta y referencias espaciales del punto de muestreo	270
Sección 4. Condiciones ambientales y de ejecución en el momento del muestreo	270
Sección 5. Medios, personal y seguridad durante el muestreo	271
Sección 6. Volumen de muestra, preparación y destino inmediato	272
Sección 7. Aprobaciones, firmas (RACI) y validación del muestreo	272
Sección 8. Evidencias, anexos y referencias cruzadas	273
FORMULARIO Nº 15.05 — Etiquetas tipo para muestras y contra-muestras de laboratorio	274
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	274
Sección 2. Datos del activo/unidad de obra vinculada a la etiqueta	275
Sección 3. Requisitos técnicos mínimos de la etiqueta de muestra y contra-muestra	275
Sección 4. Modelo de etiqueta completada para muestra principal y contra-muestra	276
Sección 5. Modelo de etiqueta completada para muestras de suelo y firme	277
Sección 6. Costes, importes y aspectos logísticos de etiquetas	278
Sección 7. Aprobaciones, firmas (RACI) y validación del modelo de etiqueta	279
Sección 8. Evidencias, referencias y conservación de las plantillas de etiquetas	279
FORMULARIO Nº 15.06 — Registro de transporte y entrega de muestras de obra	280
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	280
Sección 2. Datos logísticos del envío de muestras	281
Sección 3. Detalle de muestras incluidas en el envío	282
Sección 4. Condiciones de transporte, PRL y cumplimiento normativo	283
Sección 5. Registro de entrega en laboratorio receptor y cadena de custodia	284
Sección 6. Costes, importes y responsabilidades económicas del transporte	285

Sección 7. Aprobaciones, firmas (RACI) y confirmación de cadena de custodia	285
Sección 8. Evidencias, anexos y archivo del registro de transporte y entrega	286

Capítulo 16: Modelos de documentos para no conformidades, auditorías y control documental288

FORMULARIO Nº 16.01 — Informe y registro de no conformidad (NCR) de obra.....288

Sección 1. Identificación general de la no conformidad	288
Sección 2. Descripción detallada de la no conformidad y desviación respecto a requisitos	289
Sección 3. Clasificación, análisis preliminar de causas y riesgo	290
Sección 4. Anexo de evidencias asociadas a la no conformidad	290
Sección 5. Acciones de contención inmediata y comunicación	291
Sección 6. Propuesta de acciones correctivas/preventivas y seguimiento	292
Sección 7. Verificación de eficacia, decisión y cierre de la no conformidad	292
Sección 8. Archivo, referencias cruzadas y lecciones aprendidas	293

FORMULARIO Nº 16.02 — Acción correctiva y preventiva (CAPA) asociada a NCR.....294

Sección 1. Identificación de la CAPA y vinculación con la NCR.....	294
Sección 2. Descripción de la desviación y objetivo de la CAPA	294
Sección 3. Análisis de causa raíz de la no conformidad.....	295
Sección 4. Plan de acción correctiva con responsables y plazos	296
Sección 5. Plan de acciones preventivas y de mejora	296
Sección 6. Seguimiento del plan de acción y estado de implantación	297
Sección 7. Verificación de eficacia de la CAPA y decisión de cierre	297
Sección 8. Archivo, referencias cruzadas y lecciones aprendidas	298

FORMULARIO Nº 16.03 — Plan y acta de auditoría de calidad de proyecto.....298

Sección 1. Plan de auditoría de calidad de proyecto.....	299
Sección 2. Alcance detallado y programa de auditoría	299
Sección 3. Lista de verificación para auditorías internas (extracto)	300
Sección 4. Acta de auditoría con hallazgos y recomendaciones	301
Sección 5. Plan de acción derivado de la auditoría	302
Sección 6. Firmas, distribución y archivo del informe de auditoría	302

FORMULARIO Nº 16.04 — Ficha de documento controlado y solicitud de cambio documental.303

Sección 1. Identificación del documento controlado	303
Sección 2. Registro de revisiones y control de versiones	304
Sección 3. Solicitud de cambio documental (inicio del workflow)	305
Sección 4. Evaluación de impacto de la modificación	305
Sección 5. Aprobación o rechazo de la solicitud de cambio.....	306
Sección 6. Emisión de nueva versión y comunicación.....	306
Sección 7. Listado maestro de documentos de calidad del proyecto (extracto).....	307
Sección 8. Archivo, conservación y revisión periódica	308

FORMULARIO Nº 16.05 — Certificado de conformidad de tramo de obra y carta de comunicación de incidencia de calidad.....308

Sección 1. Modelo de certificado de conformidad de tramo/elemento de obra	308
Sección 2. Modelo de carta de comunicación de incidencia o riesgo de calidad al cliente	309
Sección 3. Consideraciones para actas de recepción provisional y definitiva	311

CHECKLIST Nº 16.06 — Personalización de modelos de QA/QC y uso en proyectos internacionales311

Sección 1. Adaptación a requisitos contractuales y del cliente.....	312
Sección 2. Incorporación de logotipos, campos adicionales y firmas digitales	312
Sección 3. Uso coordinado de modelos en proyectos internacionales	313

PARTE OCTAVA314

Práctica de control de calidad en ingeniería QA/QC: laboratorio de obra, trazabilidad y control documental314

Capítulo 17: Casos prácticos de QA/QC en edificación.....314
1. Defectos estructurales por insuficiente control de hormigón.....314

- a. Planteamiento del caso y contexto del proyecto 314
- b. Fallos de QA/QC detectados y consecuencias..... 315
- c. Medidas correctoras, costes y lecciones aprendidas 316

2. Patologías de fachadas por falta de control de ejecución.....318

- a. Descripción del edificio y su envolvente 318
- b. Errores en ITP, ensayos y supervisión de obra 319
- c. Rehabilitación, reclamaciones y mejora de procedimientos 320

3. Filtraciones en cubiertas por deficiencias de trazabilidad321

- a. Contexto del proyecto y sistema de cubierta 321
- b. Ausencia de trazabilidad y dificultad de diagnóstico 322
- c. Solución técnica y refuerzo del sistema QA/QC 322

4. Problemas de calidad percibida en acabados interiores.....324

- a. Quejas de usuarios y tipo de defectos..... 324
- b. Relación con falta de checklists y controles finales..... 324
- c. Plan de acción y cambios en el sistema de inspecciones 325

5. Incumplimientos de requisitos energéticos y de confort.....326

- a. Exigencias de eficiencia y confort en el proyecto 326
- b. Errores de diseño, ejecución y verificación 326
- c. Medidas de mejora y actualización de ITP 327

6. Síntesis de lecciones aprendidas en edificación.....328

- a. Puntos críticos recurrentes en QA/QC de edificios 328
- b. Importancia de la integración diseño—obra—operación 329
- c. Recomendaciones prácticas para futuros proyectos..... 329

Capítulo 18: Casos prácticos de QA/QC en obras lineales y urbanas331
1. Asientos excesivos por deficiente control de explanadas.....331

- a. Descripción de la infraestructura y de los daños..... 331
- b. Ensayos omitidos o mal interpretados 332
- c. Tratamientos correctores, costes y retrasos 333

2. Fallos prematuros de firmes por problemas en laboratorio334

- a. Cadena de suministro de mezclas bituminosas..... 334
- b. Errores en muestreo, ensayos y aceptación..... 335
- c. Rehabilitación, responsabilidades y ajustes de QA/QC 336

3. Problemas de drenaje y encharcamientos.....337

- a. Diseño y ejecución de sistemas de drenaje 337
- b. Controles no realizados o insuficientes..... 338
- c. Medidas correctoras y revisión de estándares 339

4. Incidencias en estructuras de paso y muros de contención.....340

- a. Patologías observadas y análisis forense..... 340
- b. Control de armaduras, hormigón y juntas 340

c. Cambios en ITP, trazabilidad y supervisión.....	341
5. Calidad urbana y reclamaciones vecinales	342
a. Aceras, accesibilidad, mobiliario y acabados urbanos.....	342
b. Falta de checklists de recepción y revisión con el cliente	343
c. Plan de mejora y comunicación con la comunidad	343
6. Síntesis de lecciones aprendidas en obras lineales y urbanas.....	345
a. Patrones repetitivos de fallo en QA/QC	345
b. Recomendaciones para reforzar laboratorios e ITP	345
c. Integración de las lecciones en nuevos proyectos	346
Capítulo 19: Casos prácticos de QA/QC en instalaciones e infraestructuras industriales ..	348
1. Fallos en sistemas de climatización y confort insatisfactorio.....	348
a. Proyecto de edificio terciario o industrial	348
b. Deficiencias de QA/QC en montaje y commissioning	349
c. Ajustes, reensayos y plan de mejora	350
2. Incidencias en instalaciones eléctricas y de control	351
a. Cortes de suministro, disparos de protecciones o fallos de automatización	351
b. Errores en ensayos, documentación y formación	352
c. Medidas correctoras y refuerzo de pruebas funcionales	353
3. Problemas en redes de proceso o fluidos industriales	354
a. Fugas, contaminación cruzada u otros incidentes.....	354
b. Auditoría de trazabilidad, soldaduras y materiales	354
c. Refuerzo de controles, formación y documentación.....	355
4. Fallos en pruebas integradas por falta de coordinación	356
a. Integración de varios sistemas y proveedores	356
b. Ausencia de plan de pruebas integradas y roles claros.....	357
c. Implantación de metodología estructurada de commissioning	357
5. Casos de éxito de QA/QC proactivo	358
a. Proyectos con alta exigencia y sin incidencias mayores.....	358
b. Factores clave del éxito en QA/QC.....	359
c. Transferencia de buenas prácticas a otras obras	360
6. Conclusiones generales de los casos prácticos.....	360
a. Impacto del control de calidad en coste, plazo y reputación	360
b. Importancia del laboratorio de obra, la trazabilidad y el control documental	361
c. Hoja de ruta para implantar un sistema QA/QC robusto en ingeniería	361
Capítulo 20: Casos prácticos de control de calidad en ingeniería QA/QC: laboratorio de obra, trazabilidad y control documental.....	363
Caso práctico 1. "CONTROL DE CALIDAD EN INGENIERÍA QA/QC." Implantación de un laboratorio de obra y sistema de trazabilidad del hormigón en un proyecto residencial.	363
Causa del Problema	363
Soluciones Propuestas.....	365
1. Implantación de un laboratorio de obra básico ampliable y clarificación del alcance con el laboratorio externo.....	365
2. Rediseño del Plan de Calidad y matriz de ITP con enfoque basado en riesgos, incluyendo hold points claros.....	366
3. Sistema integral de trazabilidad de hormigón, aceros y ensayos mediante codificación y herramientas digitales	367

4. Digitalización del control documental de QA/QC en un CDE y vinculación con el modelo BIM	368
5. Programa de formación, comunicación y seguimiento de indicadores de calidad	368
Consecuencias Previstas	369
Resultados de las Medidas Adoptadas	370
Lecciones Aprendidas	371
Caso práctico 2. "CONTROL DE CALIDAD EN INGENIERÍA QA/QC." Deficiencias de trazabilidad en ensayos de compactación de explanadas en una obra urbana.	373
Causa del Problema	373
Soluciones Propuestas	374
1. Auditoría urgente del sistema QA/QC y reconstrucción de la trazabilidad de compactación	374
2. Implantación de un protocolo de muestreo, cadena de custodia y registro georreferenciado de ensayos de compactación	375
3. Refuerzo del laboratorio de obra y recalibración de equipos de control de compactación	376
4. Plan de investigación, refuerzo localizado y monitorización acordado con el cliente	376
5. Rediseño del sistema de control documental de QA/QC y lecciones corporativas	377
Consecuencias Previstas	378
Resultados de las Medidas Adoptadas	379
Lecciones Aprendidas	380
Caso práctico 3. "CONTROL DE CALIDAD EN INGENIERÍA QA/QC." Gestión de no conformidades en soldaduras de tuberías de climatización en un hospital.	382
Causa del Problema	382
Soluciones Propuestas	384
1. Paralización controlada de actividades, emisión de no conformidad global y análisis causa raíz	384
2. Elaboración de un Plan de Soldadura y matriz de ITP específica para instalaciones de climatización	384
3. Implantación de un sistema de trazabilidad de soldaduras, soldadores y consumibles	385
4. Refuerzo del programa de inspecciones y END, con muestreo inteligente y re-evaluación de soldaduras ya ejecutadas	386
5. Integración del QA/QC de instalaciones en el CDE y coordinación con commissioning	387
Consecuencias Previstas	387
Resultados de las Medidas Adoptadas	388
Lecciones Aprendidas	389
Caso práctico 4. "CONTROL DE CALIDAD EN INGENIERÍA QA/QC." Pérdida de control documental y trazabilidad en una planta industrial.	391
Causa del Problema	391
Soluciones Propuestas	393
1. Auditoría documental interna y diseño de un "mapa de trazabilidad" del proyecto	393
2. Implantación efectiva de un sistema de control documental QA/QC integrado en el CDE	394
3. Normalización de ITP, registros de ensayo y formatos de no conformidades	394
4. Programa específico de cierre de no conformidades con evidencias trazables	395
5. Refuerzo de la coordinación QA/QC con commissioning y operación futura	396
Consecuencias Previstas	397
Resultados de las Medidas Adoptadas	398
Lecciones Aprendidas	398
Caso práctico 5. "CONTROL DE CALIDAD EN INGENIERÍA QA/QC." Revisión de la trazabilidad de vigas prefabricadas en un viaducto de carretera.	400
Causa del Problema	400
Soluciones Propuestas	402
1. Auditoría conjunta en planta prefabricadora y análisis de riesgos de calidad	402
2. Redefinición del ITP de prefabricados con hold points, witness points y requisitos de documentación	403
3. Sistema de trazabilidad reforzado: codificación única de vigas y vinculación con ensayos	404

4. Integración de la documentación de fábrica en el CDE de la obra y control documental sistemático	404
5. Refuerzo de inspecciones de recepción en obra y ensayos complementarios de contraste	405
Consecuencias Previstas	406
Resultados de las Medidas Adoptadas	407
Lecciones Aprendidas	408
Caso práctico 6. "CONTROL DE CALIDAD EN INGENIERÍA QA/QC." Fallos prematuros de firmes por laboratorio de obra subdimensionado y muestreo deficiente de mezclas bituminosas	410
Causa del Problema	410
Soluciones Propuestas	412
1. Investigación forense del firme y auditoría integral del sistema de QA/QC de mezclas bituminosas	412
2. Reestructuración y refuerzo del laboratorio de obra con independencia respecto a la planta	413
3. Nuevo protocolo de muestreo y cadena de custodia para mezclas bituminosas con trazabilidad reforzada	414
4. Rediseño del ITP de firmes con hold points y autoridad real para detener la producción	415
5. Plan de rehabilitación selectiva y negociación contractual basada en datos	416
Consecuencias Previstas	417
Resultados de las Medidas Adoptadas	418
Lecciones Aprendidas	419
Caso práctico 7. "CONTROL DE CALIDAD EN INGENIERÍA QA/QC." Reordenación de la trazabilidad de materiales y ensayos en un proyecto de metro urbano con múltiples contratistas	421
Causa del Problema	421
Soluciones Propuestas	423
1. Auditoría de trazabilidad 360º y definición de "mapas de trazabilidad" por disciplina	423
2. Implantación de un sistema único de codificación de elementos, muestras y ensayos vinculado a BIM y CDE	424
3. Revisión y unificación de ITP, con control de versiones y de su uso efectivo en obra	425
4. Refuerzo del laboratorio de obra como "nodo de trazabilidad" y coordinación con laboratorios externos	426
5. Plan de formación y "campaña de cultura de trazabilidad" para jefes, encargados y subcontratistas	427
Consecuencias Previstas	428
Resultados de las Medidas Adoptadas	429
Lecciones Aprendidas	430
Caso práctico 8. "CONTROL DE CALIDAD EN INGENIERÍA QA/QC." Reforzamiento del control de calidad y la trazabilidad en fachadas ventiladas de un complejo de oficinas	432
Causa del Problema	432
Soluciones Propuestas	434
1. Inspección técnica detallada de la fachada ejecutada y auditoría específica del sistema QA/QC de la subcontrata	434
2. Rediseño del ITP de fachada ventilada con enfoque por riesgos, hold points y registros normalizados	435
3. Sistema de trazabilidad de paneles, subestructura y anclajes basado en codificación y planos de paños	436
4. Reorganización del laboratorio de obra y de los ensayos de fachada: integración con laboratorio externo y CDE	437
5. Plan de corrección, refuerzo y verificación de fachadas, y protocolo de entrega con garantías reforzadas	438
Consecuencias Previstas	439
Resultados de las Medidas Adoptadas	440
Lecciones Aprendidas	441
Caso práctico 9. "CONTROL DE CALIDAD EN INGENIERÍA QA/QC." Resolución de problemas de climatización y confort térmico en un edificio terciario por fallos de commissioning y trazabilidad	

.....	443
Causa del Problema	443
Soluciones Propuestas.....	445
1. Diagnóstico integral del sistema de climatización y auditoría de QA/QC de instalaciones	445
2. Rediseño del Plan de Commissioning y del ITP de climatización con enfoque por etapas y riesgos	446
3. Creación de un “laboratorio de obra” de instalaciones: inventario, calibración y trazabilidad de equipos de medida	447
4. Programa de re-commissioning y equilibrado integral con documentación trazable	447
5. Refuerzo del sistema documental, integración con BMS y formación del equipo de operación	448
Consecuencias Previstas.....	449
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	450
Lecciones Aprendidas	451

Caso práctico 10. "CONTROL DE CALIDAD EN INGENIERÍA QA/QC." Reordenación del control de pruebas eléctricas y trazabilidad de cables en una subestación de evacuación de parque eólico.453

Causa del Problema	453
Soluciones Propuestas.....	455
1. Auditoría técnica y documental de las pruebas eléctricas y del sistema de protecciones	455
2. Redacción de un Plan Maestro de Ensayos y Puesta en Servicio (PMEPS) eléctrico y matriz de ITP específica	456
3. Implantación de un sistema único de codificación y trazabilidad para cables, celdas, protecciones y ensayos	457
4. Reensayos selectivos de cables y protecciones basados en análisis de riesgo	458
5. Reforzamiento del “laboratorio de obra eléctrico” y sistema de calibración de equipos	459
6. Reestructuración del control documental eléctrico en el CDE y cierres formales por sistema	460
Consecuencias Previstas.....	461
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	462
Lecciones Aprendidas	463

Caso práctico 11. "CONTROL DE CALIDAD EN INGENIERÍA QA/QC." Recuperación de la trazabilidad de ensayos de hormigón en una planta de tratamiento de aguas en ambiente agresivo.....465

Causa del Problema	465
Soluciones Propuestas.....	467
1. Reconstrucción de la trazabilidad mediante “mapa de hormigonados” y auditoría documental profunda	467
2. Rediseño del sistema de codificación y trazabilidad de muestras con integración LIMS-CDE	468
3. Campaña de ensayos complementarios in situ y en laboratorio en función de riesgos (Zonas A, B, C)	469
4. Refuerzo del Plan de Calidad de hormigones y coordinación con planta suministradora	470
5. Plan de protección preventiva y mantenimiento basado en la información obtenida.....	471
Consecuencias Previstas.....	472
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	473
Lecciones Aprendidas	474

Caso práctico 12. "CONTROL DE CALIDAD EN INGENIERÍA QA/QC." Reclamaciones vecinales por deficiencias en urbanización por falta de checklists y trazabilidad en obra urbana compleja.477

Causa del Problema	477
Soluciones Propuestas.....	479
1. Levantamiento independiente de estado final y creación de “mapa de incidencias y riesgos” de la avenida.....	479
2. Diseño e implantación de checklists QA/QC específicos de urbanización y acabados urbanos	480
3. Refuerzo del laboratorio de obra para materiales de urbanización y trazabilidad de lotes	481
4. Integración del control geométrico y de drenaje con modelos digitales (BIM ligero/GIS) y CDE.....	482
5. Gestión formal de no conformidades, plan de correcciones y relación con quejas vecinales.....	483
Consecuencias Previstas.....	484

Resultados de las Medidas Adoptadas.....	485
Lecciones Aprendidas.....	486
Caso práctico 13. "CONTROL DE CALIDAD EN INGENIERÍA QA/QC." Recuperación de la trazabilidad de soldaduras y tuberías en una planta farmacéutica estancada en la fase de cualificación.....	488
Causa del Problema.....	488
Soluciones Propuestas.....	491
1. Auditoría GMP de QA/QC de tuberías y diagnóstico de la trazabilidad real.....	491
2. Implantación de un sistema único de codificación y trazabilidad para líneas, spools, soldaduras y ensayos.....	492
3. Refuerzo del "laboratorio de obra" de soldaduras y NDT y normalización de formatos de inspección.....	493
4. Plan de recuperación documental y reconstrucción de dosieres de cualificación por fases.....	494
5. Programa de formación específica en GMP, QA/QC y cultura de datos para montaje y QA/QC de obra.....	495
Consecuencias Previstas.....	496
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	496
Lecciones Aprendidas.....	498
Caso práctico 14. "CONTROL DE CALIDAD EN INGENIERÍA QA/QC." Gestión de no conformidades y trazabilidad en la construcción de un viaducto ferroviario de alta velocidad.....	500
Causa del Problema.....	500
Soluciones Propuestas.....	502
1. Reestructuración del sistema de no conformidades y su integración con la planificación y el riesgo.....	502
2. Implantación de un sistema de codificación robusto y trazabilidad de ensayos y materiales por vano y elemento.....	503
3. Refuerzo del laboratorio de obra y recreación selectiva de ensayos críticos.....	504
4. Implantación de "puntos de parada" (hold points) reforzados en actividades críticas y auditorías cruzadas.....	505
5. Digitalización del flujo QA/QC (NCR, ITP, ensayos) y uso intensivo del CDE.....	506
6. Programa de formación específica en QA/QC para mandos de obra y cambio de cultura.....	507
Consecuencias Previstas.....	508
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	509
Lecciones Aprendidas.....	510
Caso práctico 15. "CONTROL DE CALIDAD EN INGENIERÍA QA/QC." Reforzamiento de la trazabilidad de dovelas y control de inyecciones en un túnel urbano de metro ejecutado con tuneladora...512	512
Causa del Problema.....	512
Soluciones Propuestas.....	514
1. Campaña de diagnóstico integral y auditoría QA/QC de túnel ejecutado.....	514
2. Sistema reforzado de trazabilidad dovela-anillo-parámetros TBM-inyecciones.....	515
3. Refuerzo del laboratorio de obra para morteros de inyección y protocolo de muestreo en túnel...516	516
4. Plan técnico de inyecciones complementarias y reparaciones localizadas basado en el mapa de riesgos.....	517
5. Digitalización avanzada: integración BIM-CDE-TBM y paneles QA/QC.....	518
6. Programa de lecciones aprendidas y ajustes contractuales para el segundo túnel y obras futuras.....	519
Consecuencias Previstas.....	519
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	520
Lecciones Aprendidas.....	521
Caso práctico 16. "CONTROL DE CALIDAD EN INGENIERÍA QA/QC." Homologación corporativa de formularios QA/QC y control documental en proyectos de infraestructuras en España y Latinoamérica.....	523
Causa del Problema.....	523
Soluciones Propuestas.....	525
1. Auditoría de formularios y flujos QA/QC en una muestra representativa de proyectos.....	525

2. Diseño del catálogo corporativo de formularios QA/QC y definición de campos mínimos obligatorios	526
3. Implementación de una plataforma digital de formularios integrada con el CDE corporativo	527
4. Programa de gestión del cambio: formación, acompañamiento y adaptación local controlada	528
5. Integración de los formularios con indicadores corporativos y procesos de auditoría interna	529
Consecuencias Previstas	530
Resultados de las Medidas Adoptadas	531
Lecciones Aprendidas	532

Caso práctico 17. "CONTROL DE CALIDAD EN INGENIERÍA QA/QC." Gestión integral de un fallo de resistencia de hormigón y trazabilidad deficiente en un hospital de alta complejidad.....535

Causa del Problema	535
Soluciones Propuestas	537
1. Campaña de diagnóstico estructural y de hormigón in situ basada en análisis de riesgo	537
2. Reconstrucción de la trazabilidad de hormigonados y probetas mediante "mapa de hormigonados" y revisión documental	538
3. Diseño e implantación de refuerzos estructurales localizados según resultados	539
4. Reestructuración del Plan de Calidad, ITP de hormigón y fortalecimiento del laboratorio de obra	540
5. Implantación de una codificación robusta y control documental digital de ensayos y hormigonados	541
6. Formalización de las no conformidades, comunicación con la propiedad y actualización de procedimientos corporativos	542
Consecuencias Previstas	543
Resultados de las Medidas Adoptadas	544
Lecciones Aprendidas	545

Caso práctico 18. "CONTROL DE CALIDAD EN INGENIERÍA QA/QC." Fallos prematuros de firmes en autovía por deficiencias en el laboratorio de obra y en la trazabilidad de ensayos.547

Causa del Problema	547
Soluciones Propuestas	549
1. Auditoría técnica y documental del sistema de control de firmes y del laboratorio de obra/externo	549
2. Rediseño del esquema de muestreo, codificación de muestras y cadena de custodia para mezclas bituminosas	550
3. Reorganización del laboratorio de obra, refuerzo de medios y revisión de la relación con el laboratorio externo	551
4. Rediseño de los ITP de firmes, introduciendo hold points y criterios claros de aceptación/rechazo por lotes	552
5. Plan de rehabilitación de firmes por tramos basado en auscultación y evaluación de riesgo	553
Consecuencias Previstas	554
Resultados de las Medidas Adoptadas	554
Lecciones Aprendidas	555

Caso práctico 19. "CONTROL DE CALIDAD EN INGENIERÍA QA/QC." Re-comisionado y trazabilidad de ensayos en un sistema de climatización con confort deficiente en un complejo terciario.558

Causa del Problema	558
Soluciones Propuestas	560
1. Diagnóstico integral de climatización y auditoría QA/QC de instalaciones mecánicas	560
2. Plan de re-comisionado y equilibrado de redes de aire y agua por fases	561
3. Creación de un "laboratorio de obra" para instalaciones mecánicas: inventario, calibración y gestión de instrumentos	562
4. Revisión del sistema de control (BMS), sensores y lógica de regulación bajo enfoque QA/QC	563
5. Digitalización y trazabilidad documental de pruebas, equilibrados y resultados de confort	564
6. Programa de formación y cambio cultural para mantenimiento, QA/QC e ingeniería	565
Consecuencias Previstas	566
Resultados de las Medidas Adoptadas	567
Lecciones Aprendidas	568

Caso práctico 20. "CONTROL DE CALIDAD EN INGENIERÍA QA/QC." Recuperación de la trazabilidad de pruebas eléctricas y coordinación de protecciones en una planta industrial con disparos intempestivos.....571

Causa del Problema	571
Soluciones Propuestas.....	574
1. Auditoría forense de protecciones y coordinación, y reconstrucción de la matriz de ajustes	574
2. Plan de re-ensayos eléctricos y pruebas de protecciones con trazabilidad reforzada	575
3. Estructuración del "laboratorio eléctrico de obra": inventario, calibración y procedimientos de medida	576
4. Revisión de as-built eléctricos, codificación de equipos/cables y control documental de versiones	577
5. Pruebas funcionales integradas (energización escalonada y pruebas de selectividad en carga)	578
6. Programa de formación y lecciones aprendidas en QA/QC eléctrico para España y Latinoamérica	579
Consecuencias Previstas.....	579
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	580
Lecciones Aprendidas	581

Caso práctico 21. "CONTROL DE CALIDAD EN INGENIERÍA QA/QC." Armonización de laboratorios de obra, trazabilidad de ensayos y control documental en un corredor ferroviario internacional. .584

Causa del Problema	584
Soluciones Propuestas.....	586
1. Diagnóstico comparativo de laboratorios y plan de intercomparación de ensayos	586
2. Armonización de procedimientos de ensayo y creación de un "manual común de laboratorio del corredor"	587
3. Rediseño del sistema de trazabilidad de muestras y ensayos con codificación única y georreferenciación	588
4. Reestructuración del CDE y flujos documentales QA/QC: formatos, metadatos y control de versiones	589
5. Campaña de verificación complementaria en tramos de mayor riesgo y estrategia de aceptación basada en evidencia	590
6. Programa de formación, lecciones aprendidas y actualización de estándares corporativos España–Latinoamérica	591
Consecuencias Previstas.....	591
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	592
Lecciones Aprendidas	593

Caso práctico 22. "CONTROL DE CALIDAD EN INGENIERÍA QA/QC." Recuperación de trazabilidad de módulos fotovoltaicos y refuerzo del laboratorio de obra en una planta solar utility-scale.596

Causa del Problema	596
Soluciones Propuestas.....	598
1. Campaña de diagnóstico técnico de rendimiento y estado de módulos y estructuras	598
2. Sistema reforzado de trazabilidad de módulos, strings e inversores con reconstrucción retroactiva	599
3. Refuerzo del laboratorio de obra y contrato con laboratorio externo especializado en fotovoltaica y recubrimientos.....	600
4. Plan técnico de sustitución selectiva de módulos y refuerzo anticorrosión de estructuras.....	601
5. Integración de QA/QC con datos SCADA, CDE y modelo digital de la planta.....	602
6. Programa de lecciones aprendidas y actualización de estándares para futuros proyectos solares España–Latinoamérica	603
Consecuencias Previstas.....	604
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	605
Lecciones Aprendidas	606

Caso práctico 23. "CONTROL DE CALIDAD EN INGENIERÍA QA/QC." Integración del laboratorio de obra y la trazabilidad de ensayos en una planta de tratamiento de aguas con exigencias ambientales críticas.....608

Causa del Problema	608
Soluciones Propuestas.....	610
1. Reorganización del laboratorio de obra hacia un enfoque integral (hormigón, recubrimientos y materiales especiales).....	610
2. Revisión y ampliación de los ITP de recubrimientos, revestimientos e impermeabilización.....	611
3. Implantación de un sistema de codificación y trazabilidad por líneas de proceso, tanques y unidades funcionales.....	612
4. Reestructuración del control documental QA/QC en el CDE con matrices de trazabilidad.....	613
5. Plan de inspección, reparación y refuerzo de recubrimientos y juntas en unidades críticas	614
6. Integración del laboratorio de explotación en el QA/QC y programa de lecciones aprendidas.....	615
Consecuencias Previstas.....	616
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	617
Lecciones Aprendidas.....	618

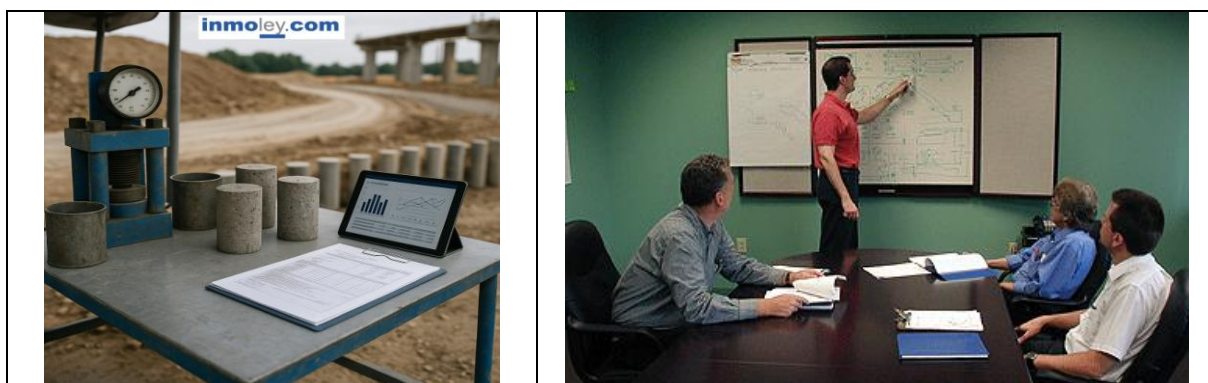
Caso práctico 24. "CONTROL DE CALIDAD EN INGENIERÍA QA/QC." Reforzando la trazabilidad de cableado y las pruebas integradas en un centro de datos de alta criticidad.620

Causa del Problema	620
Soluciones Propuestas.....	622
1. Auditoría técnica y de QA/QC de las pruebas FAT, SAT e IST y del laboratorio de obra eléctrico/TI	622
2. Re-ingeniería del "laboratorio de obra" eléctrico y de comunicaciones con enfoque metrológico..	623
3. Reconstrucción de la trazabilidad de cableado, PDU y rutas críticas mediante campaña de verificación en campo	624
4. Redefinición y ejecución de un plan de pruebas integradas de sistemas (IST) por escenarios	625
5. Reestructuración del control documental en el CDE e integración con BIM y BMS	626
6. Programa de formación específica y lecciones aprendidas para proyectos de centros de datos España–Latinoamérica	627
Consecuencias Previstas.....	628
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	629
Lecciones Aprendidas.....	629

Caso práctico 25. "CONTROL DE CALIDAD EN INGENIERÍA QA/QC." Implantación de un sistema corporativo 4.0 de laboratorios de obra, trazabilidad y control documental en proyectos España–Latinoamérica.....632

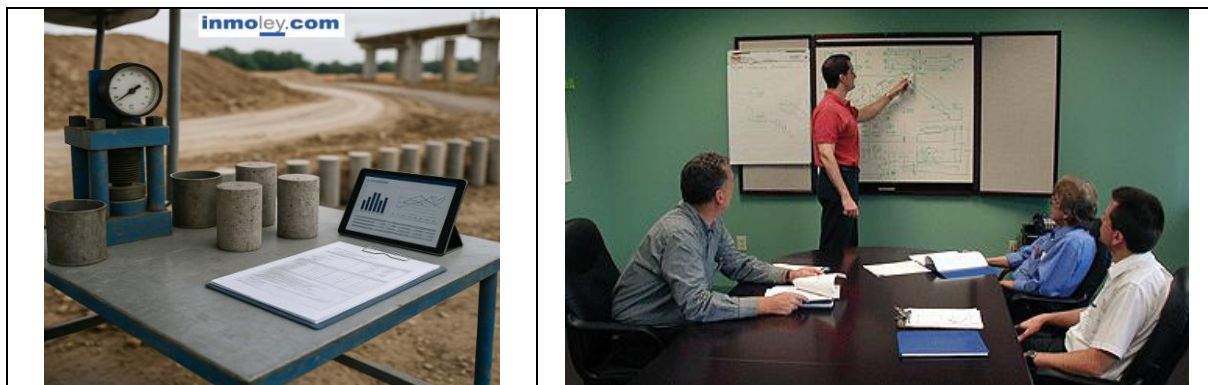
Causa del Problema	632
Soluciones Propuestas.....	634
1. Diseño del modelo corporativo QA/QC y de la red de laboratorios de obra	634
2. Implantación de una plataforma digital corporativa QA/QC (LIMS + CDE + BIM/GIS)	635
3. Sistema corporativo de trazabilidad de muestras, materiales, ensayos y decisiones	636
4. Programa de estandarización y mejora de laboratorios de obra en España y Latinoamérica	637
5. Integración del QA/QC corporativo con indicadores de coste de la no calidad y gestión de riesgos	638
6. Gestión del cambio, formación y despliegue progresivo en toda la organización.....	639
Consecuencias Previstas.....	640
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	641
Lecciones Aprendidas.....	642

¿QUÉ APRENDERÁ?



- Comprender los fundamentos del control de calidad QA/QC en proyectos de ingeniería y construcción.
- Diseñar y poner en marcha Planes de Calidad de obra alineados con los objetivos del promotor y del proyecto.
- Elaborar y gestionar Planes de Inspección y Ensayo (ITP) con hold points, witness points y criterios claros de aceptación.
- Organizar, dimensionar y gestionar técnicamente el laboratorio de obra, sus equipos, calibraciones y personal.
- Planificar y ejecutar el muestreo, los ensayos de materiales y la evaluación de resultados para la toma de decisiones en obra.
- Implantar sistemas robustos de trazabilidad de materiales, ensayos, actividades y decisiones técnicas.
- Diseñar y operar un sistema de control documental QA/QC integrado con BIM, CDE y herramientas digitales.
- Gestionar no conformidades, acciones correctivas y preventivas, y cerrar expedientes con evidencias sólidas.
- Planificar y ejecutar auditorías de calidad, definir indicadores (KPIs) y aplicar herramientas de mejora continua.
- Aplicar el enfoque QA/QC a distintas tipologías de proyecto: edificación, obras lineales, urbanización e instalaciones MEP e industriales.
- Utilizar checklists y formularios QA/QC listos para usar en laboratorio de obra, trazabilidad y control documental.
- Analizar casos reales de éxito y de fallo en QA/QC para extraer lecciones aprendidas y definir una hoja de ruta de implantación en España y Latinoamérica.

Introducción.



Cuando la calidad se convierte en tu mejor estrategia

El sector de la ingeniería y la construcción vive una etapa de enorme exigencia: proyectos más complejos, presupuestos ajustados, plazos cada vez más agresivos y una presión creciente en materia de seguridad, sostenibilidad y cumplimiento normativo. En este contexto, el control de calidad ya no es un simple requisito contractual ni un conjunto de papeles que hay que completar; se ha convertido en un factor decisivo de competitividad. La diferencia entre una obra problemática y un proyecto de referencia suele estar en la solidez del sistema QA/QC, en la madurez del laboratorio de obra, en la trazabilidad real de los materiales y en la forma en que se gestiona la documentación técnica.

Sin embargo, muchos equipos siguen abordando el control de calidad como una obligación burocrática, desconectada de la estrategia del proyecto y de la propuesta de valor de la empresa. Esto significa perder oportunidades: cada no conformidad evitada es tiempo ganado, cada ensayo bien planificado es un riesgo menos, cada documento bien trazado es un conflicto legal que no llega a producirse. Para un profesional del sector, dominar el QA/QC no solo es reducir retrabajos y reclamaciones; es también reforzar su credibilidad técnica frente al cliente y mejorar la forma en que posiciona sus servicios y proyectos en el mercado.

Esta guía práctica de control de calidad en ingeniería QA/QC, centrada en laboratorio de obra, trazabilidad y control documental, nace precisamente para llenar ese hueco. A lo largo de sus capítulos recorre, de forma estructurada y muy aplicada, desde los fundamentos del QA/QC hasta la planificación del Plan de Calidad y los Planes de Inspección y Ensayo (ITP), la organización y acreditación del laboratorio de obra, el muestreo y control de materiales, la trazabilidad técnica y documental, la gestión de no conformidades y auditorías, y la aplicación específica a edificación, obras lineales, urbanización e instalaciones MEP e industriales. Todo ello se complementa con un bloque muy potente de checklists y formularios listos para usar, y con numerosos casos prácticos inspirados en proyectos reales en España y Latinoamérica.



Para el profesional de la ingeniería, la construcción o la consultoría, esta guía no es solo un manual técnico más. Es una herramienta directa para mejorar su manera de plantear, explicar y vender su propuesta de calidad. Le permitirá traducir conceptos como ITP, laboratorio de obra, trazabilidad o control documental en argumentos claros ante clientes y direcciones facultativas; estructurar mejor las ofertas y memorias técnicas; justificar la necesidad de determinados recursos de QA/QC; y demostrar, con evidencias, que la calidad está gestionada, no improvisada. En términos muy concretos, le ayudará a reducir el coste de la no calidad, a ganar tiempo frente a la improvisación y a reforzar la reputación técnica de su equipo y de su organización.

Los beneficios van más allá de la técnica pura. Un sistema QA/QC bien diseñado y apoyado en herramientas prácticas se convierte en un elemento clave de posicionamiento profesional: aporta seguridad a promotores e inversores, facilita el cierre de acuerdos, reduce incertidumbres en la fase de obra y genera confianza en la explotación futura del activo. Comprender a fondo cómo integrar laboratorio de obra, trazabilidad y control documental en la propuesta global del proyecto es, en la práctica, una forma de marketing técnico: es explicar con hechos por qué tu proyecto es más robusto, más controlado y menos expuesto a sorpresas costosas.

Por eso, esta guía está pensada como una inversión en conocimiento con retorno directo. No se limita a exponer teoría, sino que proporciona criterios, pasos, ejemplos, checklists y formularios que se pueden adaptar y aplicar desde el primer día en obras reales. Cada caso práctico, cada modelo de documento y cada recomendación está orientado a ayudar al lector a tomar mejores decisiones, anticipar problemas, documentar correctamente y convertir la calidad en una ventaja competitiva frente a otros actores del mercado.

Si aspiras a diferenciarte como profesional, a liderar proyectos con menos incidencias y a reforzar tu propuesta de valor ante clientes, esta guía práctica es un paso natural. Te ayudará a revisar cómo estás trabajando hoy, a detectar huecos en tu sistema QA/QC y a diseñar una hoja de ruta realista para mejorar tus procedimientos, tus herramientas y la forma en que comunicas tu enfoque de calidad. En un entorno donde cada retraso, cada reclamación y cada siniestro tiene consecuencias económicas y reputacionales, invertir en conocimiento avanzado de QA/QC es, sencillamente, una decisión estratégica.

El sector evoluciona, la normativa se refuerza, la digitalización avanza y los clientes son cada vez más exigentes. Quedarse en soluciones parciales o en enfoques puramente formales de la calidad ya no es una opción para quien quiera seguir siendo relevante. Dar el paso hacia un sistema de control de calidad sólido, apoyado en laboratorio de obra, trazabilidad real y control documental riguroso, es apostar por la excelencia técnica y por una carrera profesional más sólida y reconocida. Esta guía práctica está diseñada para acompañarte en ese camino. Ahora te corresponde a ti abrirla, estudiarla y empezar a aplicar sus ideas en tu próximo proyecto.