



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS CÓDIGOS INTERNACIONALES PARA HORMIGÓN PROYECTADO

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

LUIS GONZALO PACHECO ORTEGA

PROFESOR GUÍA:
EDGARDO GONZALEZ

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
FEDERICO DELFIN
JAN PETTER LUTNAES

SANTIAGO DE CHILE
SEPTIEMBRE 2012

RESUMEN

“Análisis Comparativo de los Códigos Internacionales para Hormigón Proyectado”

No obstante el uso intensivo de hormigón proyectado que se ha registrado en los últimos años en Chile, particularmente en proyectos de túneles mineros y de metro, es relativamente usual que durante el desarrollo de las faenas se produzcan indefiniciones que retrasan a éstas debido a la falta de una normativa chilena que regule los requisitos y procesos conforme a la realidad de las prácticas nacionales. Una carencia evidente se encuentra en las disposiciones para la dosificación de la mezcla de hormigón proyectado, en donde la relación agua cemento, la granulometría de los áridos y el uso de aditivos, entre otros aspectos, varían sin un adecuado control, produciendo un producto de calidad no conforme que puede traer consecuencias negativas para las obras y sus trabajadores.

Como extensión de las carencias normativas, se produce un vacío respecto de la preparación y entrenamiento con la que deben contar los operadores o aplicadores del hormigón proyectado (conocidos como pitoneros), lo que redundará en falta de personal calificado y por tanto, también de personal de supervisión. De hecho, actualmente, las empresas constructoras presentan dificultades para conseguir pitoneros y supervisores calificados. Además, no se puede dejar de lado la falta de equipos de nivel mundial producto de la falta de exigencias normativas. Fuera de Chile existe tecnología de excelencia que permite proteger al operador que está en la frente, como también realizar una ejecución del trabajo en forma pareja y de acuerdo las exigencias.

Es por lo anterior, que con este trabajo se busca realizar un análisis de los códigos internacionales de hormigón proyectado, para que con ello se pueda contribuir a entregar elementos de comparación y juicio para una futura normativa chilena. Los referidos códigos son de procedencia europea, estadounidense y australiana. Dentro de la procedencia europea, además de dos códigos de carácter comunitario, existen dos nacionales, siendo uno noruego y el otro austriaco. Cabe destacar que algunos de los códigos referidos son la base de las especificaciones técnicas que se realizan para los proyectos mineros y de infraestructura de transporte en el país.

Los aspectos a considerar para la comparación de los códigos son los requisitos de materiales y procesos, la clasificación según resistencia temprana o funcionalidad estructural, entre otros criterios, los trabajos preparatorios, los trabajos de proyección, el tratamiento de las fibras y algunas restricciones sobre el cemento. La metodología de trabajo incluye la revisión bibliográfica de los códigos y de algunos aspectos generales del hormigón proyectado.

El trabajo concluye reconociendo que los códigos más utilizados en el país son el EFNARC, European Specification for Sprayed Concrete, 1996 y el ÖVBB, Sprayed Concrete Guideline, 2006, pero que los códigos ACI del comité 506, relativos a hormigón proyectado, están siendo día a día más estudiados y seguidos, debido a que ofrecen más elementos de juicio respecto del hormigón con fibra y de las resistencias tempranas, permitiendo de este modo, no adoptar siempre los criterios más restrictivos.

Finalmente, el trabajo concluye afirmando la necesidad de normar las competencias que deben tener los operadores y supervisores del hormigón proyectado, además de promover el uso de mayor tecnología cuando aplique, como el caso de los equipos robotizados.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a toda mi familia que siempre me apoyó durante el largo proceso de estudio, empezar a nombrar a cada uno de ellos sería interminables, pero en forma particular agradecer a mis padres Rodrigo y Mireya, y a mis hermanos Sebastián, Bernardita y Diego quienes estuvieron y han estado siempre a mi lado apoyándome y entregándome los mejores valores para sacar esta carrera adelante.

Quiero agradecer a mi comisión examinadora, a mi profesor guía, Edgardo González a quien tuve el agrado de conocer durante mi proceso académico en la universidad, agradecerle por todo el apoyo no solo en mi trabajo de título, sino que durante todo el tiempo que nos conocemos. A mi profesor co-guía, Federico Delfín, uno de los grandes profesores que tuve durante mi formación como ingeniero, agradecerle siempre por su buena disposición. Y por último y no menos importante, al tercer integrante de mi comisión, Jan Petter Lutnaes, a quien tuve el agrado de conocer en SKAVA cuando desarrollaba mi trabajo de título, una gran persona que siempre ha estado dispuesto a ayudarme y a conversar.

Quiero agradecer a SKAVA CONSULTING LTDA., y en forma particular a Marcos Allende por haberme permitido desarrollar mi trabajo de título y comenzar a desarrollarme como profesional, a todos mis compañeros de trabajo, muy buenos amigos que siempre estuvieron para apoyarme.

Quiero agradecer en forma especial a todos mis amigos, no son pocos y comenzar a nombrarlos me llevaría hojas agradeciéndoles por lo que han hecho por mí, todo el tiempo que han estado apoyándome, y los grandes momentos que hemos vivido juntos. Con algunos nos hemos alejado por diferentes motivos, otros se encuentran fuera de Chile, pero siempre están presentes. Cada uno de ustedes sabe quiénes son, saben lo importante que fueron y que siguen siendo para mí y este trabajo es por ustedes también.

Por último quiero agradecer a la vida por haberme entregado todo lo que tengo, debo decir que son un agradecido de ella, y como dicen por ahí..."PURA VIDA".

ÍNDICE

CAPITULO I	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Motivación	1
1.2	Objetivos	2
1.2.1	Objetivos Generales	2
1.2.2	Objetivos Específicos	2
1.3	Planteamiento del Problema	2
1.4	Metodología	3
1.5	Alcances del Trabajo	3
1.6	Estructura del Trabajo	4
CAPITULO II	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	5
2.1	Códigos de Estudio	5
2.1.1	UNE-EN 14487-1, 2008. Hormigón Proyectado, Parte 1: Definiciones, especificaciones y conformidad	5
2.1.2	UNE-EN 14487-2, 2008. Hormigón Proyectado, Parte 2: Ejecución	6
2.1.3	EFNARC - European Specification for Sprayed, 1996	7
2.1.4	EFNARC - European Specification for Sprayed Concrete, Guidelines for Specifiers and Contractors, 1999	8
2.1.5	ACI 506R-05, Guide to Shotcrete	8
2.1.6	ACI 506.2-95, Specification for Shotcrete	8
2.1.7	ACI 506.1R-08, Guide to Fiber-Reinforced Shotcrete	9
2.1.8	ACI 506.5R-09, Guide for Specifying Underground Shotcrete	9
2.1.9	ÖVBB, Sprayed Concrete Guideline, 2006	10
2.1.10	NB, Publication Nº 7, Sprayed Concrete for Rock Support - Technical Specification, Guidelines and Test Methods, 1999	10
2.1.11	CIA-AuSS, Recommended Practice Shotcreting, 2ªEd, 2010	11
2.2	Códigos Complementarios	11
2.2.1	ACI 506.4R-94, Reapproved 2004, Guide for the Evaluation of Shotcrete	12
2.2.2	ACI 214.4R-10, Guide for Obtaining Cores and Interpreting Compressive Strength Results	12
2.2.3	ACI 214R-11, Guide to Evaluation of Strength Test Results of Concrete	12
2.2.4	NCh1998.Of1989, Hormigón - Evaluación Estadística de la Resistencia Mecánica	13
2.2.5	NCh1171/1.Of2001, Hormigón - Testigos de hormigón endurecido - Parte 1: Extracción y Ensayo	13
2.2.6	NCh1171/2.Of2001, Hormigón - Testigos de hormigón endurecido - Parte 2: Evaluación de resultados de resistencia mecánica	14
2.2.7	EFNARC - European Specification for Sprayed Concrete, Checklist for Specifiers and Contractors, 2002	14
2.3	Vías de Proyección	15
2.3.1	Presentación	15
2.3.2	Proyección por Vía Seca	15
2.3.3	Proyección por Vía Húmeda	16
2.3.4	Comparación Vías de Proyección	17

2.4	Resistencias Tempranas.....	18
2.4.1	Presentación.....	18
2.4.2	Aplicación de Resistencias Tempranas.....	18
2.4.3	Medición de Resistencias Tempranas	19
2.4.4	Clases de Resistencia Temprana	19
2.5	Hormigón Proyectado con Fibras	21
2.5.1	Presentación.....	21
2.5.2	Aporte de las Fibras.....	21
2.5.3	Medición del desempeño de las Fibras.....	22
2.5.4	Clases de Absorción de Energía.....	23
CAPITULO III COMPARACIÓN CÓDIGOS.....		24
3.1	General	24
3.2	Requisitos para el Hormigón Proyectado	24
3.3	Clasificación del Hormigón Proyectado	26
3.4	Trabajos Preparatorios	28
3.5	Proyección del Hormigón	30
3.6	Hormigón Proyectado con Fibras	32
3.7	Restricciones sobre el Cemento para el Hormigón Proyectado.....	33
CAPITULO IV ANÁLISIS DE UNA VISITA A OBRA		34
4.1	Objetivo Visita a Obra.....	34
4.2	Proceso constructivo de un Túnel en Roca.....	34
4.2.1	Partes y Etapas	34
4.2.2	Fortificación.....	35
4.2.3	Revestimiento	37
4.3	Problemas detectados en la Visita a Obra.....	38
4.3.1	Hormigón Proyectado con áridos fuera de banda	38
4.3.2	Retraso en la aplicación del Hormigón Proyectado	38
4.3.3	Clasificación incorrecta del tipo de roca	39
4.3.4	Aplicación deficiente del Hormigón Proyectado.....	39
4.3.5	Aparición de fisuras	40
4.3.6	Mala ventilación	40
4.3.7	Condiciones de Equipamiento deficientes.....	40
4.4	Calificación de Operadores para Hormigón Proyectado	41
4.5	Composición y deberes en un equipo de trabajo.....	41
4.5.1	Deberes del capataz	42
4.5.2	Deberes del operador	42
4.5.3	Deberes del operador del mezclador	42
4.5.4	Deberes del ingeniero o superintendente a cargo.....	43

CAPITULO V	CONCLUSIONES	44
5.1	Conclusiones de Comparación de Códigos	44
5.2	Conclusiones de Visita a Obra	45
5.3	Trabajo Futuro	46
CAPITULO VI	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
ANEXO A	49	
TABLAS RESUMEN DE CÓDIGOS INTERNACIONALES		49
A.1	UNE-EN 14487-1, 2008. Hormigón Proyectado, Parte 1: Definiciones, especificaciones y conformidad	50
A.2	UNE-EN 14487-2, 2008. Hormigón Proyectado, Parte 2: Ejecución	58
A.3	EFNARC, European Specification for Sprayed Concrete, 1996	65
A.3*	EFNARC - European Specification for Sprayed Concrete, Execution of Spraying (revised version of Section 8), 1999	74
A.4	EFNARC, European Specification for Sprayed Concrete, Guidelines for Specifiers and Contractors, 1999	79
A.5	ACI 506R-05, Guide to Shotcrete	81
A.6	ACI 506.2-95, Specification for Shotcrete	88
A.7	ACI 506.1R-08, Guide to Fiber-Reinforced Shotcrete	95
A.8	ACI 506.5R-09, Guide for Specifying Underground Shotcrete	100
A.9	ÖVBB, Sprayed Concrete Guideline, 2006	107
A.10	NB, Publication N° 7, Sprayed Concrete for Rock Support - Technical Specification, Guidelines and Test Methods, 1999	115
A.11	CIA-AuSS, Recommended Practice Shotcreting, 2010	126
A.12	ACI 506.4R-94, Reapproved 2004, Guide for the Evaluation of Shotcrete	133
A.13	NCh1998.Of1989, Hormigón - Evaluación Estadística de la Resistencia Mecánica	137
A.14	NCh1171/1.Of2001, Hormigón - Testigos de hormigón endurecido - Parte 1: Extracción y Ensayo	139
A.15	NCh 1171/2.Of2001, Hormigón - Testigos de hormigón endurecido - Parte 2: Evaluación de resultados de resistencia mecánica	142
A.16	EFNARC, European Specification for Sprayed Concrete, Checklist for Specifiers and Contractors, 2002	143
ANEXO B	144	
GLOSARIO DE TÉRMINOS		144
B.1	Glosario de Términos	145

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura II.1: Esquema de Proyección por Vía Seca.....	15
Figura II.2: Esquema de Proyección por Vía Húmeda	16
Figura II.3: Fotografía de Medición de Resistencia Temprana con Penetración de Aguja	19
Figura II.4: Rango de Clases de Resistencia Temprana	20
Figura II.5: Ejemplos de Fibras de Acero	22
Figura II.6: Esquema de Ensayo de Placa para medir Absorción de Energía.....	23
Figura IV.1: Partes principales de un túnel	34
Figura IV.2: Fortificación con Marcos de Acero	36
Figura IV.3: Aplicación de Hormigón Proyectado	37
Figura A.1: ACI 506-2-95 / Grado 1	91
Figura A.2: ACI 506-2-95 / Grado 2	91
Figura A.3: ACI 506-2-95 / Grado 3	91
Figura A.4: ACI 506-2-95 / Grado 4	91
Figura A.5: ACI 506-2-95 / Grado 5	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla II.1: Comparación entre vías de Proyección Seca y Húmeda según ACI 506R-05	17
Tabla III.1: Requisitos para el Hormigón Proyectado	25
Tabla III.2: Criterios de Clasificación del Hormigón Proyectado según los distintos códigos	26
Tabla III.3: Trabajos Preparatorios para la Aplicación del Hormigón Proyectado	29
Tabla III.4: Proyección del Hormigón Proyectado	30
Tabla III.5: Hormigón Proyectado con Fibras	32
Tabla III.6: Restricciones sobre el Cemento para el Hormigón Proyectado	33
Tabla A.1: UNE-EN 14487-1, 2008 / Clasificación del Hormigón	50
Tabla A.2: UNE-EN 14487-1, 2008 / Continuación de Clasificación del Hormigón	51
Tabla A.3: UNE-EN 14487-1, 2008 / Requisitos para el Hormigón Proyectado	52
Tabla A.4 : UNE-EN 14487-1, 2008 / Continuación de Requisitos para el Hormigón Proyectado	53
Tabla A.5 : UNE-EN 14487-1, 2008 / Especificaciones para el Hormigón Proyectado	54
Tabla A.6 : UNE-EN 14487-1, 2008 / Evaluación de la Conformidad	55
Tabla A.7 : UNE-EN 14487-1, 2008 / Continuación de Evaluación de la Conformidad	56
Tabla A.8 : UNE-EN 14487-1, 2008 / Continuación de Evaluación de la Conformidad	57
Tabla A.9 : UNE-EN 14487-2, 2008 / Documentación Requerida	58
Tabla A.10 : UNE-EN 14487-2, 2008 / Armadura para el Hormigón Proyectado	58
Tabla A.11 : UNE-EN 14487-2, 2008 / Trabajos Preparatorios	59
Tabla A.12 : UNE-EN 14487-2, 2008 / Equipos	60
Tabla A.13 : UNE-EN 14487-2, 2008 / Preparación, Mezclado y Entrega del Hormigón	61
Tabla A.14 : UNE-EN 14487-2, 2008 / Ejecución de la Proyección	62
Tabla A.15 : UNE-EN 14487-2, 2008 / Continuación de Ejecución de la Proyección	63
Tabla A.16 : UNE-EN 14487-2, 2008 / Tolerancias Geométricas	64
Tabla A.17 : UNE-EN 14487-2, 2008 / Inspección	64
Tabla A.18 : EFNARC, ESSC, 1996 / Requisitos para la composición del Hormigón Proyectado	65
Tabla A.19 : EFNARC, ESSC, 1996 / Requisitos para la Durabilidad	66
Tabla A.20 : EFNARC, ESSC, 1996 / Composición de la Mezcla	67
Tabla A.21 : EFNARC, ESSC, 1996 / Ejecución de la Proyección	68
Tabla A.22 : EFNARC, ESSC, 1996 / Requisitos para el Producto Final	69
Tabla A.23 : EFNARC, ESSC, 1996 / Continuación de Requisitos para el Producto Final	70
Tabla A.24 : EFNARC, ESSC, 1996 / Métodos de Ensayos	70
Tabla A.25 : EFNARC, ESSC, 1996 / Continuación de Métodos de Ensayos	71

Tabla A.26 : EFNARC, ESSC, 1996 / Continuación de Métodos de Ensayos	72
Tabla A.27 : EFNARC, ESSC, 1996 / Control de Calidad	73
Tabla A.28 : EFNARC, ESSC-ES, 1999 / Ejecución del Hormigón Proyectado	74
Tabla A.29 : EFNARC, ESSC-ES, 1999 / Continuación de Ejecución del Hormigón Proyectado.....	75
Tabla A.30 : EFNARC, ESSC-ES, 1999 / Continuación de Ejecución del Hormigón Proyectado.....	76
Tabla A.31 : EFNARC, ESSC-ES, 1999 / Continuación de Ejecución del Hormigón Proyectado.....	77
Tabla A.32 : EFNARC, ESSC-ES, 1999 / Continuación de Ejecución del Hormigón Proyectado.....	78
Tabla A.33 : EFNARC, ESSC-GSC, 1999 / Materiales Constituyentes.....	79
Tabla A.34 : EFNARC, ESSC-GSC, 1999 / Continuación de Materiales Constituyentes	80
Tabla A.35 : ACI 506R-05 / Aspectos Generales.....	81
Tabla A.36 : ACI 506R-05 / Materiales	82
Tabla A.37 : ACI 506R-05 / Equipos.....	83
Tabla A.38 : ACI 506R-05 / Organización del Equipo de Trabajo	84
Tabla A.39 : ACI 506R-05 / Procedimientos Principales.....	85
Tabla A.40: ACI 506R-05 / Dosificación y Pruebas de Pre-Construcción.....	86
Tabla A.41 : ACI 506R-05 / Colocación del Hormigón proyectado.....	87
Tabla A.42 : ACI 506-2-95 / Lista de Requisitos para el Hormigón Proyectado	88
Tabla A.43 : ACI 506-2-95 / Continuación de Lista de Requisitos para el Hormigón Proyectado.....	89
Tabla A.44 : ACI 506-2-95 / Aseguramiento de Calidad	89
Tabla A.45 : ACI 506-2-95 / Grados de los Núcleos de Testigos.....	90
Tabla A.46 : ACI 506-2-95 / Hormigón en el Lugar.....	90
Tabla A.47 : ACI 506-2-95 / Materiales	92
Tabla A.48 : ACI 506-2-95 / Ejecución	93
Tabla A.49 : ACI 506-2-95 / Continuación de Ejecución.....	94
Tabla A.50 : ACI 506.1R-08 / Materiales Especiales.....	95
Tabla A.51 : ACI 506.1R-08 / Procesos	95
Tabla A.52 : ACI 506.1R-08 / Producción	96
Tabla A.53 : ACI 506.1R-08 / Procedimientos de Ensayos	96
Tabla A.54 : ACI 506.1R-08 / Rendimiento del Hormigón Proyectado con Fibras	97
Tabla A.55 : ACI 506.1R-08 / Continuación de Rendimiento del Hormigón Proyectado con Fibras.....	98
Tabla A.56 : ACI 506.1R-08 / Consideraciones de Diseño	99
Tabla A.57 : ACI 506.5R-09 / Recomendaciones de Documentación para el Hormigón Proyectado	100
Tabla A.58 : ACI 506.5R-09 / Continuación Recomendaciones de Documentación para el Hormigón Proyectado	101

Tabla A.59 : ACI 506.5R-09 / Materiales Constituyentes	101
Tabla A.60 : ACI 506.5R-09 / Continuación Materiales Constituyentes.....	102
Tabla A.61 : ACI 506.5R-09 / Constituyentes de la Mezcla Húmeda de Hormigón Proyectado con Aire Incorporado.....	103
Tabla A.62 : ACI 506.5R-09 / Requisitos de Rendimiento	104
Tabla A.63 : ACI 506.5R-09 / Guía para el Control de la Calidad.....	105
Tabla A.64 : ACI 506.5R-09 / Continuación Guía para el Control de la Calidad	106
Tabla A.65 : ACI 506.5R-09 / Aplicación del Hormigón Proyectado.....	106
Tabla A.66 : ÖVBB, SCG, 2006 / Recomendaciones	107
Tabla A.67 : ÖVBB, SCG, 2006 / Características, medios de ensayos, exigencias	109
Tabla A.68 : ÖVBB, SCG, 2006 / Dosificaciones.....	109
Tabla A.69 : ÖVBB, SCG, 2006 / Requisitos y Clasificación del Hormigón Proyectado	110
Tabla A.70 : ÖVBB, SCG, 2006 / Continuación de Requisitos y Clasificación del Hormigón Proyectado ...	111
Tabla A.71 : ÖVBB, SCG, 2006 / Resistencia Temprana	111
Tabla A.72 : ÖVBB, SCG, 2006 / Continuación de Resistencia Temprana	112
Tabla A.73 : ÖVBB, SCG, 2006 / Requisito Final	113
Tabla A.74 : ÖVBB, SCG, 2006 / Hormigón Proyectado con Propiedades Especiales	114
Tabla A.75 : NB, Pub N° 7, 1999 / Especificación para el Hormigón Proyectado.....	115
Tabla A.76 : NB, Pub N° 7, 1999 / Continuación de Especificación para el Hormigón Proyectado	116
Tabla A.77 : NB, Pub N° 7, 1999 / Especificación adicionales para el Hormigón Proyectado, cuando es utilizado como Protección de Incendios	117
Tabla A.78 : NB, Pub N° 7, 1999 / Diseño.....	118
Tabla A.79 : NB, Pub N° 7, 1999 / Continuación de Diseño	119
Tabla A.80 : NB, Pub N° 7, 1999 / Guías Generales.....	120
Tabla A.81 : NB, Pub N° 7, 1999 / Continuación de Guías Generales	121
Tabla A.82 : NB, Pub N° 7, 1999 / Continuación de Guías Generales	122
Tabla A.83 : NB, Pub N° 7, 1999 / Continuación de Guías Generales	123
Tabla A.84 : NB, Pub N° 7, 1999 / Métodos de Ensayos	124
Tabla A.85 : NB, Pub N° 7, 1999 / Continuación de Métodos de Ensayos	125
Tabla A.86 : CIA-AuSS, RPS, 2010 / Comparación de Proceso de Hormigón Húmedo y Seco.	126
Tabla A.87 : CIA-AuSS, RPS, 2010 / Consideraciones para Diseño de Estructuras de Hormigón Proyectado	127
Tabla A.88 : CIA-AuSS, RPS, 2010 / Aceleradores para Cemento y Hormigón Proyectado	128

Tabla A.89 : CIA-AuSS, RPS, 2010 / Diseños de Mezcla Húmeda para Minería y Obras Civiles de Tunelería	129
Tabla A.90 : CIA-AuSS, RPS, 2010 / Diseño de Mezcla Húmeda de Hormigón Proyectado	130
Tabla A.91 : CIA-AuSS, RPS, 2010 / Diseño de Mezcla Seca de Hormigón Proyectado.....	131
Tabla A.92 : CIA-AuSS, RPS, 2010 / Plan Básico de Gestión para el Desarrollo del Proceso de Proyección	132
Tabla A.93 : ACI 506.4R-94, R2004 / Resistencia	133
Tabla A.94 : ACI 506.4R-94, R2004 / Continuación de Resistencia.....	134
Tabla A.95 : ACI 506.4R-94, R2004 / Determinación de Vacíos y Uniones	135
Tabla A.96 : ACI 506.4R-94, R2004 / Densidad	136
Tabla A.97 : ACI 506.4R-94, R2004 / Permeabilidad	136
Tabla A.98 : NCh1998.Of1989 / Procedimientos	137
Tabla A.99 : NCh1171/1.Of2001 / Extracción	139
Tabla A.100 : NCh1171/1.Of2001 / Continuación de Extracción	140
Tabla A.101 : NCh1171/1.Of2001 / Preparación del Testigo para Ensayos	140
Tabla A.102 : NCh1171/1.Of2001 / Ensayos e Informe	141
Tabla A.103 : NCh1171/2.Of2001 / Procedimientos.....	142

CAPITULO I INTRODUCCIÓN

1.1 Motivación

El Hormigón Proyectado, conocido también como Shotcrete debido a su nombre en inglés, tiene sus inicios en el año 1907, aunque no con fines constructivos, como podría pensarse, sino que con fines arquitectónicos, en particular, para conformar animales prehistóricos, como lo hiciera el escultor neoyorquino Carl Ethan Akeley, a quien se le reconoce como uno de los inventores de esta técnica.

En un comienzo, la técnica fue sencilla, correspondiendo a la proyección de una mezcla de arcilla. Luego se incorporó cemento y arena, dando origen así al hormigón proyectado.

En la actualidad el hormigón proyectado es un gran aliado para la construcción, debido a las ventajas que presenta su tecnología, como por ejemplo, que no requiere moldaje y que su aplicación es sencilla y rápida. Dentro de las aplicaciones más utilizadas está su proyección para la estabilización de taludes y muros de contención junto con su utilización en refuerzos estructurales de muros, pero sin duda la aplicación más sistemática se da en los proyectos de túneles, tanto en el sector minero como hidroeléctrico, además de su uso en las obras de metros subterráneos.

En Chile, en la década de los setenta, se inicia el uso del hormigón proyectado con la construcción de las primeras centrales hidroeléctricas, particularmente con la construcción de la central El Toro, la que acarrió varios inconvenientes por la poca experiencia que se tenía al respecto. Los principales problemas que surgieron fueron el rebote del hormigón proyectado, la escasa mano de obra calificada y la falta de equipos específicos.

En el contexto de los proyectos de túneles mineros y de metro que se avecinan, resulta motivador introducirse en el tema del hormigón proyectado, en particular, en el aspecto normativo, puesto que no existe una normativa nacional específica que regule su producción y aplicación. Así, surge como idea para el presente trabajo de título el comparar diferentes códigos internacionales acerca de Hormigón Proyectado o Shotcrete con el objetivo de entregar herramientas que regulen el uso de éste en Chile.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivos Generales

- Comparar códigos internacionales de Hormigón Proyectado para así entregar herramientas que regulen el uso de éste en Chile

1.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar los códigos internacionales de mayor uso en Chile
- Identificar aspectos que no están siendo debidamente cubiertos en los proyectos actuales en Chile, en particular, en los relacionados con túneles
- Identificar los aspectos obsoletos y/o que no aplican conforme a la realidad en Chile
- Introducir el tema de la certificación de los aplicadores de Hormigón Proyectado en Chile

1.3 Planteamiento del Problema

No obstante el uso intensivo de hormigón proyectado que se ha registrado en los últimos años en Chile, particularmente en proyectos de túneles mineros y de metro, es relativamente usual que durante el desarrollo de las faenas se produzcan indefiniciones que retrasan a éstas debido a la falta de una normativa nacional que regule los requisitos y procesos que giran en torno al shotcrete.

Una carencia evidente se encuentra en las disposiciones para la dosificación de la mezcla de hormigón proyectado, en donde la relación agua cemento, la granulometría de los áridos y el uso de aditivos, entre otros aspectos, varían sin una adecuada banda, produciendo un producto de calidad no totalmente conforme, lo que puede producir agrietamientos, infiltraciones de agua y/o derrumbes, en el caso más extremo.

Como extensión de las carencias normativas se produce un vacío respecto de la preparación y entrenamiento con la que deben contar los operadores o aplicadores del Shotcrete (conocidos como pitoneros), lo que redundará en falta de personal calificado y por tanto, también de personal de supervisión. De hecho, actualmente, las empresas constructoras presentan dificultades para conseguir pitoneros y supervisores calificados.

Además de lo anterior, no se puede dejar de lado los equipos que se utilizan para proyectar el hormigón, a nivel mundial existe tecnología de excelencia que permite proteger al operador que está en la frente, como también realizar una ejecución del trabajo en forma pareja y de acuerdo las exigencias de primer nivel, y una vez más al no tener Chile una normativa que regule lo anterior, existe un vacío en este ámbito.

Es por ello que con este trabajo se busca realizar un análisis de los códigos internacionales de hormigón proyectado, para que con ello pueda contribuir a entregar elementos de comparación para una futura normativa chilena.

1.4 Metodología

La metodología del presente trabajo de título consiste en analizar los siguientes puntos:

- Recopilar los diferentes códigos internacionales de hormigón proyectado y estudiarlos
- Realizar una comparación entre los diferentes códigos
- Realizar en forma paralela visitas a terreno, de manera de identificar los problemas que se producen in situ y así poder comparar estas deficiencias con la teoría mostrada en la bibliografía.

1.5 Alcances del Trabajo

Por medio del siguiente trabajo de título, se busca poder identificar las principales variables asociadas tanto a las técnicas de hormigón proyectado como a las gestiones, planificación y producción del mismo. Algunos aspectos a estudiar son:

- Vías de Proyección
- Requisitos para el Hormigón Proyectado
- Clasificación del Hormigón Proyectado
- Resistencias Tempranas
- Hormigón Proyectado con Fibras
- Trabajos Preparatorios
- Proyección del Hormigón Proyectado
- Restricciones sobre el Cemento para el Hormigón Proyectado
- Personal involucrado (operadores, capataces, supervisores, ingeniero a cargo, etc.)

Mediante una revisión extensa de la bibliografía a estudiar, se busca desarrollar cada uno de los puntos antes mencionados y de esta forma entregar una referencia para futuros proyectos normativos.

1.6 Estructura del Trabajo

El presente Trabajo de Título tiene una estructura de cinco capítulos. En el primer y presente capítulo ya se ha referido sobre el tema principal de este trabajo, explicando la motivación que inspira el desarrollo de éste, con el fin de explicar los objetivos tanto generales como específicos, y los resultados que se pretenden obtener a partir de ellos.

En el Capítulo II, Revisión Bibliográfica, se entrega un resumen de los distintos códigos internacionales de hormigón proyectado utilizados para el objetivo del trabajo. Además se explican las vías de proyección seca y húmeda con que se aplica el hormigón proyectado, se explica el concepto de resistencias tempranas y se explica el aporte de las fibras en el hormigón proyectado.

En el Capítulo III, Comparación Códigos, se desarrollan tablas comparativas entre los distintos códigos. Los aspectos a considerar son los requisitos de materiales y procesos, la clasificación según resistencia temprana o funcionalidad estructural, entre otros criterios, los trabajos preparatorios, los trabajos de proyección, el tratamiento de las fibras y algunas restricciones sobre el cemento.

En el Capítulo IV, Análisis de una Visita a Obra, se describen los problemas detectados en una visita a obra donde se estaba utilizando hormigón proyectado de modo intensivo, en particular, en la construcción de un túnel en roca, a objeto de analizar cómo incide en el desarrollo de las obras nacionales la falta de una normativa propia, lo que incluye la referencia a tópicos relativos a la calificación del personal de proyección del shotcrete.

En el Capítulo V, Conclusiones, se presentan las conclusiones en base al planteamiento de los objetivos del trabajo. También se hace referencia a los aspectos no abordados y los desarrollos futuros propuestos por el autor del presente trabajo.

A continuación siguen las Referencias Bibliográficas y los Anexos A y B. En el Anexo A se presenta un desarrollo en extenso de tablas resumen de los principales tópicos de los códigos en estudio, lo que constituye parte esencial del trabajo, mientras que en el Anexo B, un glosario de términos.

CAPITULO II REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Códigos de Estudio

Los códigos internacionales que se estudian en el presente trabajo de título son:

1. UNE-EN 14487-1, 2008. Hormigón Proyectado, Parte 1: Definiciones, especificaciones y conformidad
2. UNE-EN 14487-2, 2008. Hormigón Proyectado, Parte 2: Ejecución
3. EFNARC, European Specification for Sprayed Concrete, 1996
4. EFNARC, European Specification for Sprayed Concrete, Guidelines for Specifiers and Contractors, 1999
5. ACI 506R-05, Guide to Shotcrete
6. ACI 506.2-95, Specification for Shotcrete
7. ACI 506.1R-08, Guide to Fiber-Reinforced Shotcrete
8. ACI 506.5R-09, Guide for Specifying Underground Shotcrete
9. ÖVBB, Sprayed Concrete Guideline, 2006
10. NB, Publication Nº 7, Sprayed Concrete for Rock Support - Technical Specification, Guidelines and Test Methods, 1999
11. CIA-AuSS, Recommended Practice Shotcreting, 2º Ed, 2010

A continuación se presenta un breve resumen de cada uno de ellos. En el Anexo A se presentan cuadros con información más detallada, cuya lectura es recomendable previo a pasar al siguiente capítulo. En el Anexo B se entrega un glosario de términos.

2.1.1 UNE-EN 14487-1, 2008. Hormigón Proyectado, Parte 1: Definiciones, especificaciones y conformidad

Código editado por el Comité Europeo de Normalización, CEN, mediante la Asociación Española de Normalización y Certificación, AENOR. Este código incorpora reglas para la utilización de materiales constituyentes que son cubiertos por otras normas europeas. Esta norma europea es aplicable a la mezcla húmeda así como a la mezcla seca de hormigón proyectado.

Esta norma europea define las tareas para el especificador, el productor y el usuario. Por ejemplo, el especificador es responsable de la especificación del hormigón y el productor es responsable

del control de la conformidad y de la producción. El usuario es responsable de colocar el hormigón en la estructura. En la práctica, puede haber distintas partes para especificar los requisitos en distintas etapas del proceso de diseño y construcción, por ejemplo, el cliente, el proyectista, el contratista, el sub-contratista del hormigón. Cada uno es responsable de pasar los requisitos especificados, junto con cualquier requisito adicional, a la siguiente parte en la cadena hasta que lleguen al productor.

Esta norma cubre fundamentalmente

- requisitos para los materiales constituyentes, para la composición del hormigón y para la mezcla básica, para el hormigón fresco y endurecido y todos los tipos de hormigón proyectado reforzado con fibra
- especificación para mezclas diseñadas y prescritas
- conformidad

Los sustratos a los cuales se puede aplicar el hormigón proyectado incluyen:

- suelo (rocas y tierra)
- hormigón proyectado
- diferentes tipos de encofrados
- componentes estructurales constituidos de hormigón, fábrica y acero
- materiales de drenaje
- materiales aislantes

2.1.2 UNE-EN 14487-2, 2008. Hormigón Proyectado, Parte 2: Ejecución

Este código europeo, también editado por el CEN mediante AENOR, especifica los requisitos para la ejecución de hormigón proyectado mediante procesos tanto en húmedo como en seco. Es aplicable tanto a estructuras temporales como permanentes.

Esta norma no cubre los aspectos de seguridad y salud en la ejecución, como tampoco establece los requisitos para el aseguramiento de la calidad y para la calificación del personal para las distintas actividades.

2.1.3 EFNARC - European Specification for Sprayed, 1996

Código europeo editado por la European Federation of National Associations Representing producers and applicators of specialist building products for Concrete, EFNARC (Federación Europea de Asociaciones Nacionales que representan a productores y aplicadores de productos de construcción especializada para el Hormigón).

Esta especificación se refiere al hormigón o mortero colocado por medios neumáticos sobre una superficie. El hormigón o mortero proyectado, con o sin fibras, se clasifica según su uso en:

- Estructural
- Soportante de roca y excavación
- Soporte temporal
- Mejoramiento de superficie
- Reparación

En particular especifican temas como requisitos como:

- Composición de la mezcla,
- Ejecución de la Proyección
- Métodos de ensayos y control de calidad

El capítulo 8 de este código, relativo a la ejecución del hormigón proyectado, fue parcialmente actualizado en 1999 con el documento EFNARC - European Specification for Sprayed Concrete, Execution of Spraying (revised version of Section 8), 1999.

Este documento detalla aspectos como los trabajos preparatorios y preparación de la superficie para la proyección.

Además se destacan las técnicas para la proyección, las disposiciones para el hormigón que rebota, los reforzamientos, el acabado y equipos que se utilizan.

2.1.4 EFNARC - European Specification for Sprayed Concrete, Guidelines for Specifiers and Contractors, 1999

Este código europeo, también editado por EFNARC, especifica las exigencias esenciales para una correcta instalación del hormigón proyectado, estableciendo pautas para la composición y materiales constituyentes como cemento, aridos, aditivos, fibras, presencia de cloruros, etc. También señala la forma de proyección del hormigón y los equipos asociados a ella.

Además prescribe exigencias para el producto final tales como resistencia a la compresión, módulos de elasticidad y energía de absorción, junto los métodos de prueba que son necesarios para encontrar dichos parámetros.

Por último, se enlistan los requisitos para el control de calidad y para la seguridad ambiental y del personal.

2.1.5 ACI 506R-05, Guide to Shotcrete

Código editado por el American Concrete Institute, ACI. Esta guía proporciona la información de los materiales y propiedades tanto de mezcla seca como de mezcla húmeda del hormigón proyectado.

Cubre la mayor parte del proceso del hormigón proyectado, incluso procedimientos de aplicación, exigencias de equipo, y responsabilidades del equipo humano que está detrás del hormigón proyectado. También se comentan otros aspectos tales como procesos de pre-construcción, pruebas de calificación de operadores, pruebas de materiales y pruebas de aceptación final del hormigón proyectado.

2.1.6 ACI 506.2-95, Specification for Shotcrete

Este código, también editado por el ACI, contiene las exigencias de construcción para la aplicación de hormigón proyectado como la lista de requisitos para el hormigón proyectado, aseguramiento de calidad, características del hormigón in situ, proyección y acabado.

Tanto la mezcla mojada como la mezcla seca de hormigón proyectado son especificadas, además son proporcionados los estándares mínimos para pruebas y materiales.

2.1.7 ACI 506.1R-08, Guide to Fiber-Reinforced Shotcrete

Este código, también editado por el ACI, describe la tecnología y las aplicaciones del hormigón proyectado reforzado con fibras sintéticas y de acero.

Propiedades mecánicas, en particular la dureza, impacto, y fuerza flexural, son mejoradas por la adición de fibra. Estas mejoras son descritas junto con otras propiedades y ventajas típicas, como el control del agrietamiento y de retracción.

Se describen también las proporciones de mezclas típicas, agrupamiento, mezcla y procedimientos de aplicación, incluso métodos de reducir el rebote y el equipo típico para el hormigón proyectado reforzado con fibras.

Se describen las aplicaciones del hormigón proyectado reforzado con fibras, además del trabajo de estabilización de roca, construcción y reparación de túneles.

2.1.8 ACI 506.5R-09, Guide for Specifying Underground Shotcrete

Este código, también editado por el ACI, proporciona una guía para diseñadores y contratistas dedicados a la aplicación de hormigón proyectado para el apoyo subterráneo.

Este código proporciona información general para la selección de los materiales que componen el hormigón proyectado, para los métodos típicos de dosificación, mezclado y manejo de materiales junto con los métodos de colocación de hormigón proyectado y los equipos asociados.

2.1.9 ÖVBB, Sprayed Concrete Guideline, 2006

Código editado por la Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik (Austrian Association for Concrete and Structural Engineering). Este código corresponde a la traducción al inglés del código ÖVBB, Richtlinie Spritzbeton, 2004. Éste último código fue actualizado en el 2009, sin embargo, aún no ha sido traducido al inglés.

Esta guía incorpora especificaciones para la utilización y manejo de las actividades relacionadas con el hormigón proyectado, dosificación y granulometría de sus materiales y consideraciones especiales que se deben observar para una correcta fabricación, aplicación y cuidado del hormigón, a fin de obtener un buen funcionamiento de éste.

Este código se caracteriza del resto por su acento en las resistencias tempranas del hormigón proyectado en los primeros minutos de aplicación de éste, lo mismo que por su clasificación estructural conforme al rango de cumplimiento de dichas resistencias.

2.1.10 NB, Publication Nº 7, Sprayed Concrete for Rock Support - Technical Specification, Guidelines and Test Methods, 1999

Código editado por la Norsk Betongforening (Norwegian Concrete Association) en conjunto con la Norwegian Tunneling Society y el Norwegian Rock Mechanics Group. Esta publicación entrega una pauta extensa de especificaciones técnicas y métodos de prueba para el hormigón proyectado en roca, especialmente en espacios subterráneos como los túneles.

Dentro de los principales tópicos que cubre se encuentran:

- Clasificación del hormigón
- Materiales constituyentes
- Trabajos previos para una correcta adherencia entre el hormigón y el sustrato
- Implementación de los equipos
- Inspección del hormigón proyectado
- Rendimiento del hormigón
- Métodos de ensayos para determinar las propiedades físicas y mecánicas

2.1.11 CIA-AuSS, Recommended Practice Shotcreting, 2°Ed, 2010

Código editado por el Concrete Institute of Australia en conjunto con la Australian Shotcrete Society. Esta guía proporciona información respecto de la tecnología recomendada, de prácticas para el proceso del hormigón, de materiales y de equipos, sugiriendo algunas recomendaciones para el diseño estructural y el diseño de la mezcla.

Esta guía ofrece una visión general de los procesos de aplicación de hormigón proyectado y como ella misma consigna, no reemplaza la necesidad de un experto presente en los diferentes procesos y etapas.

2.2 Códigos Complementarios

Además de los códigos descritos, la práctica del Hormigón Proyectado exige también del conocimiento de códigos relativos a la evaluación y validación de éste, entre los que cabe mencionar a:

12. ACI 506.4R-94, Reapproved 2004, Guide for the Evaluation of Shotcrete
13. ACI 214.4R-10, Guide for Obtaining Cores and Interpreting Compressive Strength Results
14. ACI 214R-11, Guide to Evaluation of Strength Test Results of Concrete
15. NCh1998.Of1989, Hormigón - Evaluación Estadística de la Resistencia Mecánica
16. NCh1171/1.Of2001, Hormigón - Testigos de hormigón endurecido - Parte 1: Extracción y Ensayo
17. NCh 1171/2.Of2001, Hormigón - Testigos de hormigón endurecido - Parte 2: Evaluación de resultados de resistencia mecánica
18. EFNARC, European Specification for Sprayed Concrete, Checklist for Specifiers and Contractors, 2002

A continuación se presenta un breve resumen de éstos. En el Anexo A se presentan cuadros con información más detallada de algunos de estos códigos.

2.2.1 ACI 506.4R-94, Reapproved 2004, Guide for the Evaluation of Shotcrete

Este código ACI sirve como una guía para diseñadores, contratistas e inspectores vinculados en la aceptación, rechazo o evaluación de la mezcla de hormigón proyectado.

2.2.2 ACI 214.4R-10, Guide for Obtaining Cores and Interpreting Compressive Strength Results

Este código ACI muestra prácticas corrientes para obtener testigos e interpretar los resultados de la resistencia a compresión.

Esta guía proporciona las directrices para interpretar la resistencia a compresión del hormigón en una estructura en construcción y los métodos para determinar una resistencia a compresión equivalente para evaluar la capacidad de una estructura existente.

2.2.3 ACI 214R-11, Guide to Evaluation of Strength Test Results of Concrete

Este código ACI proporciona una definición de los criterios de diseño, las especificaciones y otros parámetros necesarios para la evaluación estructural de estructuras de hormigón.

Esta guía analiza las variaciones que se producen en la resistencia a compresión del hormigón y presenta los procedimientos estadísticos útiles para interpretar estas variaciones con respecto a las pruebas y los criterios especificados.

2.2.4 NCh1998.Of1989, Hormigón - Evaluación Estadística de la Resistencia Mecánica

Esta norma chilena establece procedimientos de evaluación de la calidad del hormigón cuando la resistencia a compresión es la base de aceptación.

Los procedimientos de evaluación tienen por objeto determinar la conformidad de los resultados de la resistencia a compresión con respecto a la especificada y evaluar el nivel de control de ensayos.

Para los efectos de esta norma se supone que la resistencia a compresión del hormigón se distribuye en el lote de acuerdo a una curva normal.

Los procedimientos de evaluación son aplicables a las muestras extraídas según un plan de muestreo al azar de hormigón fresco o endurecido.

2.2.5 NCh1171/1.Of2001, Hormigón - Testigos de hormigón endurecido - Parte 1: Extracción y Ensayo

Esta norma chilena establece los procedimientos para la extracción, preparación y ensayos de testigos cilíndricos para determinar sus dimensiones y propiedades físicas y mecánicas del hormigón endurecido.

Esta norma se aplica cuando:

- Se desea conocer el estado de la resistencia actual de hormigón de una estructura existente
- La evaluación de resultados de resistencia a compresión de hormigón fresco haya dado un resultado menor a la resistencia límite inferior
- La especificación técnica de la obra establece la recepción de los elementos de hormigón cuya fabricación se ejecuta en obra, mediante extracción y evaluación de testigos
- O lo determina el proyectista estructural

2.2.6 NCh1171/2.Of2001, Hormigón - Testigos de hormigón endurecido - Parte 2: Evaluación de resultados de resistencia mecánica

Esta norma chilena establece los procedimientos para evaluar los resultados de resistencia a compresión de hormigón endurecido extraído y ensayado según NCh1171/1.Of2001.

Además esta norma es aplicable para determinar el cumplimiento de la resistencia especificada en el proyecto a partir de la resistencia real del hormigón colocado en una estructura mediante los resultados obtenidos a la edad de ensayo de los testigos.

2.2.7 EFNARC - European Specification for Sprayed Concrete, Checklist for Specifiers and Contractors, 2002

Este código EFNARC, que consta de protocolos de comprobación para los proyectistas y contratistas, está destinada a complementar los documentos del proyecto en todo el proceso, desde la selección de materiales hasta las tareas de proyección, en un formato de fácil lectura.

Estos protocolos procuran incluir todos los aspectos esenciales, pero si hay exigencias especiales por el tipo de trabajo a realizar, deben agregarse.

Estos protocolos son altamente recomendados a fin de asegurar que ningún punto sea pasado por alto y así, procurar una correcta operación y una eficaz aplicación de hormigón proyectado.

2.3 Vías de Proyección

2.3.1 Presentación

Previo al estudio de los códigos de hormigón proyectado, es deseable conocer las formas de proyección de éste. Existen básicamente dos formas, la Proyección por Vía Seca y la Proyección por Vía Húmeda. Ambas vías se diferencian por el lugar o momento en que se produce la mezcla. Mientras en la vía seca la mezcla se produce en la boquilla de proyección (proyector), en la vía húmeda se produce en aún antes de entrar a la manguera de transporte.

2.3.2 Proyección por Vía Seca

En la Proyección por Vía Seca, los componentes cementicios y los áridos se mezclan en seco en el silo de traspaso, desde donde se dirigen a la tolva de alimentación de la máquina de proyección de sistema rotor. Luego de ésta, por acción del aire comprimido, la mezcla se transporta por manguera hasta el proyector, donde se agrega agua y aditivo acelerante para la proyección final sobre la superficie de trabajo. Ver Figura II.1.

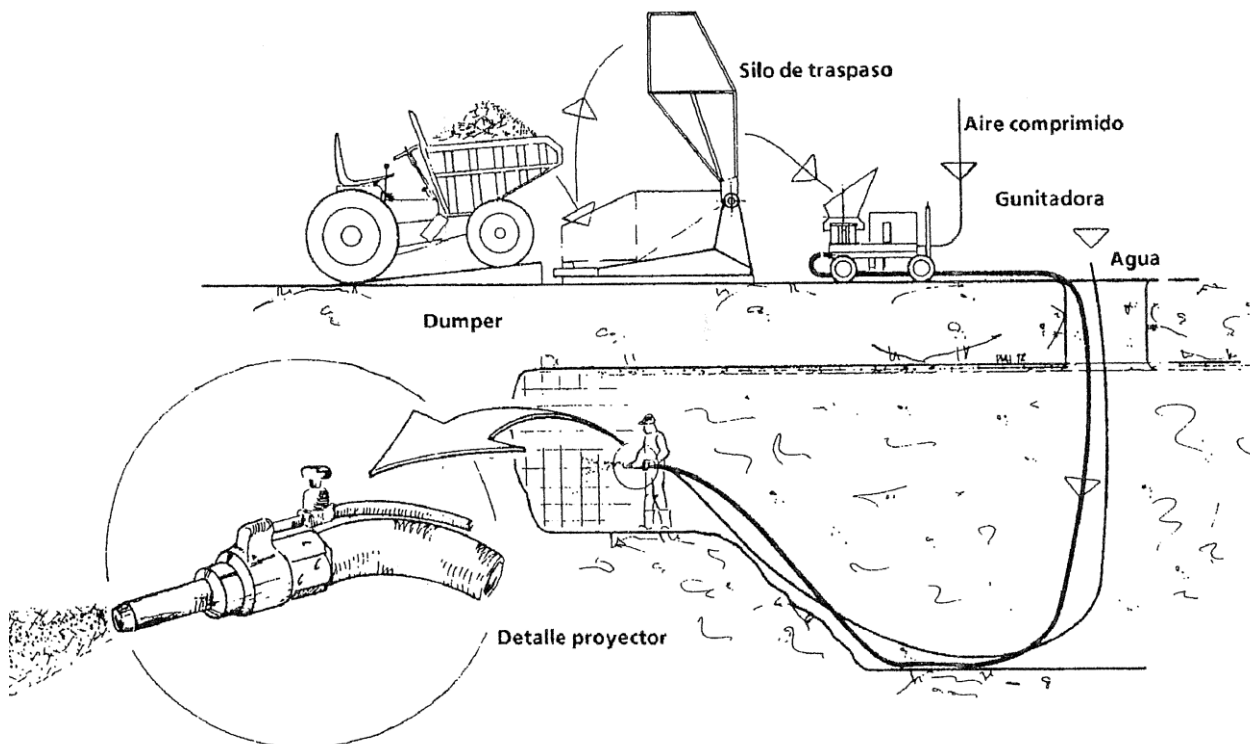


Figura II.1: Esquema de Proyección por Vía Seca

Fuente: Asociación Científico-Técnica del Hormigón Estructural, ACHE. Hormigones de Ejecución Especial (seis tipos). Colegio de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos. Madrid, 2002. 112p.

Existe una variante conocida como Vía Seca Semi-Húmeda, o simplemente, Vía Semi-Húmeda, que consiste en incorporar el agua y el aditivo acelerante directamente en la manguera unos 4 m o 5 m antes del proyector, lo que permite obtener un material más homogéneo.

2.3.3 Proyección por Vía Húmeda

En la Vía de Proyección Húmeda, los componentes cementicios, los áridos y los aditivos plastificantes requeridos se mezclan con el agua de amasado antes de introducirlos a la tolva de alimentación de la máquina de proyección, la que puede funcionar en base a un sistema rotor (flujo fluido) o de bombeo (flujo denso), siendo éste último el más utilizado en la actualidad.

En la Vía Húmeda, el aditivo acelerante se incorpora a la mezcla en el proyector, al que también llega aire comprimido para la proyección final sobre la superficie de trabajo. Ver Figura II.2.

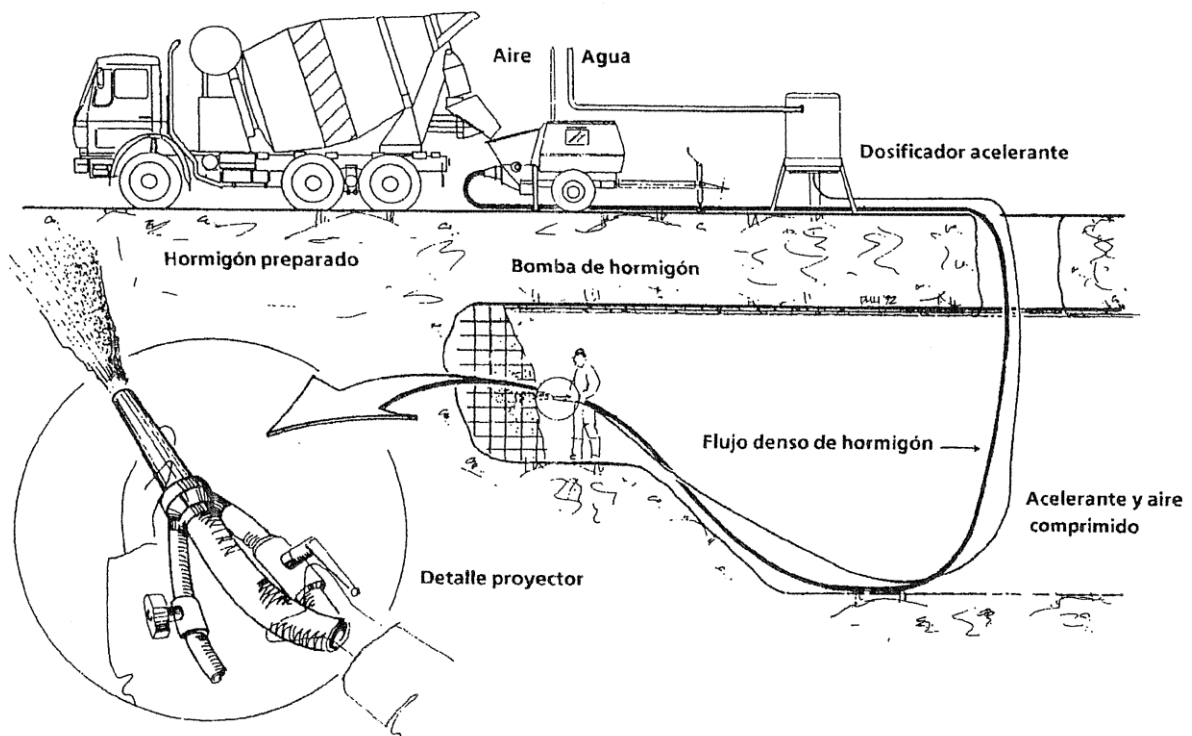


Figura II.2: Esquema de Proyección por Vía Húmeda

Fuente: Asociación Científico-Técnica del Hormigón Estructural, ACHE. Hormigones de Ejecución Especial (seis tipos). Colegio de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos. Madrid, 2002. 112p.

2.3.4 Comparación Vías de Proyección

A continuación, en la Tabla II.1, se presenta una comparación entre ambas vías de proyección según lo indicado en la Tabla 1.2 del ACI 506R-05, Guide to Shotcrete.

Tabla II.1: Comparación entre vías de Proyección Seca y Húmeda según ACI 506R-05

Vía Seca	Vía Húmeda
<ul style="list-style-type: none">• Control instantáneo sobre agua de mezclado y sobre la consistencia de la mezcla en la boquilla (proyector) para satisfacer cada particularidad	<ul style="list-style-type: none">• El agua de mezclado es controlada por el equipo dosificador y puede ser medida con precisión
<ul style="list-style-type: none">• Más adecuado para hormigones con agregados livianos y materiales refractarios	<ul style="list-style-type: none">• Mayor seguridad de que el agua está mezclada con los otros componentes del shotcrete
<ul style="list-style-type: none">• Capaz de ser transportado por largas distancias	<ul style="list-style-type: none">• Menor polvo y menor pérdida de cemento durante la proyección
<ul style="list-style-type: none">• Las mangueras transportadoras son más fáciles de mover	<ul style="list-style-type: none">• Normalmente tiene un menor rebote
<ul style="list-style-type: none">• Menor volumen de producción por sección de manguera transportadora	<ul style="list-style-type: none">• Mayor volumen de producción por sección de manguera transportadora

2.4 Resistencias Tempranas

2.4.1 Presentación

Lo mismo que respecto del conocimiento de las vías de proyección del shotcrete, también es deseable conocer el concepto de resistencias tempranas previo al estudio de los códigos del hormigón proyectado.

A continuación, se presenta una explicación de las resistencias tempranas basado en el código ÖVBB, Sprayed Concrete Guideline, 2006.

2.4.2 Aplicación de Resistencias Tempranas

La medición de las resistencias tempranas aplica sobre el hormigón proyectado joven, que se define cómo aquel cuya edad de proyección no supera las 24 horas.

El desarrollo de la resistencia durante los primeros minutos tiene una gran influencia sobre la formación de polvo y de rebote. Si la resistencia se alcanza de modo muy rápido, el shotcrete se endurece instantáneamente luego de ser proyectado, lo que impide la debida integración de las partículas más gruesas. Por lo tanto, para mantener la formación de polvo y de rebote dentro de límites aceptables, la resistencia medida después de 2 minutos en condiciones normales no debe exceder de 2 kgf / cm².

En presencia de infiltraciones o sobre un sustrato desfavorable, quizás sea necesario alcanzar una mayor resistencia en pocos minutos, lo que sin embargo implicará una mayor cantidad de polvo y de rebote.

Como regla general, el desarrollo de la resistencia del shotcrete se debe medir para el período comprendido entre 6 minutos y 6 horas tras la proyección del shotcrete y luego de éste, a las 24 horas. Mediciones tras 9 ó 12 horas luego de la proyección del shotcrete se requieren en casos especiales, como los de las excavaciones bajo áreas construidas o con poca tapada.

2.4.3 Medición de Resistencias Tempranas

La resistencia temprana se mide mediante ensayos de tipo indirecto, vale decir, que ninguno mide directamente la resistencia a compresión. Destaca el ensayo conocido como Penetración con Aguja consignado en el código referido, donde además se encuentra la formulación para llevar los resultados de este ensayo a valores de resistencia a la compresión. En la Figura II.3 se presenta una fotografía con dicho ensayo.



Figura II.3: Fotografía de Medición de Resistencia Temprana con Penetración de Aguja

2.4.4 Clases de Resistencia Temprana

El desarrollo de la resistencia temprana se clasifica sobre la base de 3 clases, conocidas como J1, J2 y J3, según se detalla en la figura siguiente, correspondiente a una traducción de la Fig. 7/1 del código ÖVBB, Sprayed Concrete Guideline, 2006.

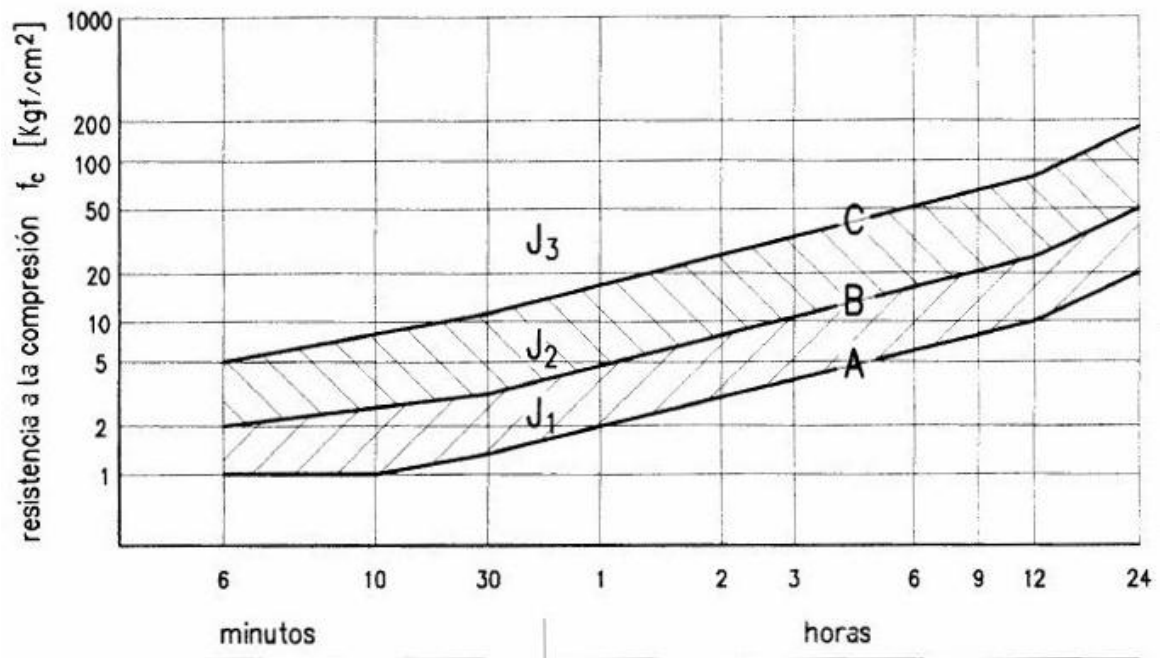


Figura II.4: Rango de Clases de Resistencia Temprana
J1 está entre curvas A y B / J2 está entre curvas B y C / J3 está sobre curva C

El Shotcrete clase J1 es adecuado para la proyección en capas delgadas sobre un sustrato seco, sin requisitos especiales de carga, ofreciendo como ventaja la baja formación de polvo y de rebote.

Si el shotcrete debe ser proyectado en capas más gruesas o de sobre cabeza, se requiere un shotcrete clase J2, de la misma forma, si la aplicación es sobre lugares con infiltraciones de agua o si una vez aplicado el shotcrete es necesario realizar actividades que demanden una carga inmediata sobre éste, como son los casos por ejemplo de perforaciones para anclajes, vibraciones en el lugar debido a tronaduras, etc. El shotcrete clase J2 aplica también para aplicación sobre cabeza en grandes espesores y para el caso de cargas rápidas debido a presiones del terreno.

Debido a la mayor formación de polvo y de rebote, el shotcrete clase J3 sólo debe ser especificado en circunstancias especiales, como por ejemplo, ante una fuerte infiltración de agua o un gran requisito de carga. Se requiere igualmente en caso de avances rápidos o casos atípicos en general.

2.5 Hormigón Proyectado con Fibras

2.5.1 Presentación

Al igual que respecto del conocimiento de las vías de proyección y de las resistencias tempranas del shotcrete, es importante conocer acerca del shotcrete con fibras previo al estudio de los códigos del hormigón proyectado.

A continuación, se presenta una explicación de la aplicación de las fibras basado en el código ACI 506.1R-08, Guide to Fiber-Reinforced Shotcrete.

2.5.2 Aporte de las Fibras

La adición de fibras al hormigón proyectado tiene como objetivo mejorar algunas de las propiedades mecánicas de éste, tales como su resistencia a la flexión y al impacto. Aunque no el referido código no lo señala, muchos autores consignan lo anterior como un aumento de la ductilidad del hormigón proyectado. Como beneficio adicional, las fibras permiten un mayor control del las fisuras por retracción.

Cuando se utiliza el hormigón proyectado con fibras, no procede el uso de mallas de acero si es que estuviesen especificadas, puesto que su funcionalidad es reemplazada por la de las fibras.

Aunque existen distintos tipos de fibras, las más usadas en el hormigón proyectado son las fibras de acero y las de polipropileno. En general, los largos de las fibras son del orden de 20 a 50 mm, mientras que sus diámetros, del orden de 0,1 a 0,5 mm.

En cuanto a la mezcla de las fibras con el hormigón proyectado, las fibras de acero se hacen presentes según un rango que varía entre 12 a 60 kg/m³, mientras que las de propileno, entre 5 a 9 kg/m³.

En la Figura II.5 se presenta la Fig. 3.1 del código ACI 506.1R-08.

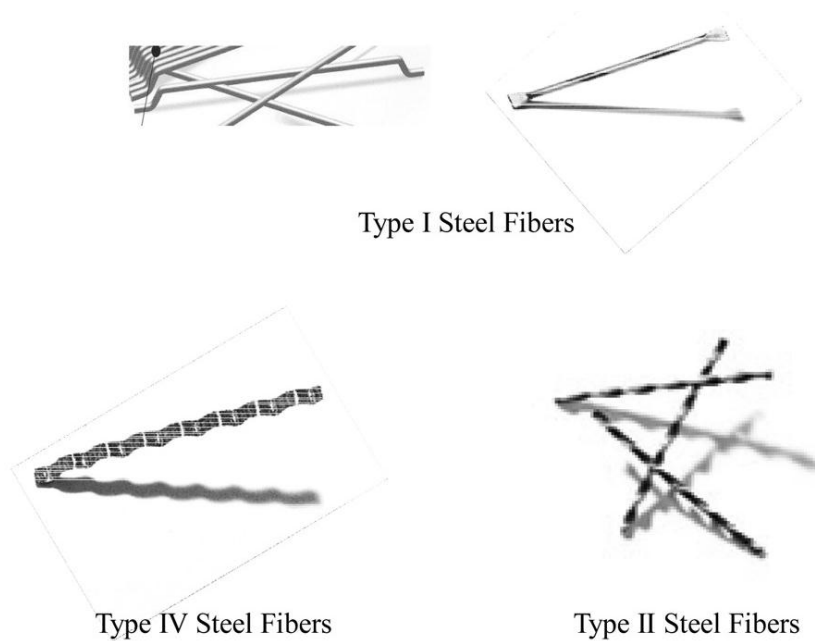


Figura II.5: Ejemplos de Fibras de Acero

2.5.3 Medición del desempeño de las Fibras

El desempeño de las fibras se mide fundamentalmente según su capacidad de absorción de energía, para lo cual, se utiliza el ensayo conocido como Ensayo de Placa, cuya metodología se define en el código EFNARC, European Specification for Sprayed, 1996.

La probeta de ensayo consiste en una placa de 600 x 600 x 100 mm, a la que apoyada en sus cuatro bordes, se le aplica una carga en el punto central según se indica en la Figura 10.4.1 del referido código, transcrita en el presente trabajo en la Figura II.6. La tasa de deformación en el punto medio debe ser de 1,5 mm por minuto.

La lógica del ensayo consiste en registrar la curva carga – deformación hasta alcanzar una deformación de 25 mm en el punto central de la placa. El área bajo la curva entrega la energía absorbida.

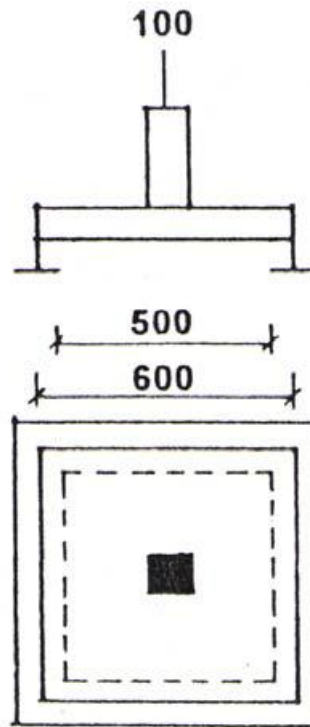


Figura II.6: Esquema de Ensayo de Placa para medir Absorción de Energía

2.5.4 Clases de Absorción de Energía

De los ensayos de placa se derivan 3 clases de absorción de energía, conocidas como E500, E700 y E1000, donde el número denota que la absorción de energía es al menos dicho número expresado en Joules, para una deformación de 25 mm.

CAPITULO III COMPARACIÓN CÓDIGOS

3.1 General

A fin de cumplir el objetivo del presente trabajo de título, se contempla una comparación en detalle de los códigos internacionales de hormigón proyectado. En el Anexo A se encuentran los cuadros resumen de cada código, los que forman parte fundamental para el desarrollo de este trabajo, toda vez que entregan la información relevante para la construcción y entendimiento de las tablas comparativas que a continuación se presentan para una serie de tópicos relevantes del Hormigón Proyectado.

3.2 Requisitos para el Hormigón Proyectado

Los diferentes códigos internacionales especifican una serie de propiedades físicas y/o mecánicas obligatorias y/u opcionales como requisitos para el Hormigón Proyectado, aunque en definitiva, depende de cada proyecto si algunas de esas propiedades son necesarias y/o requeridas, lo que debe quedar estipulado en las especificaciones de cada proyecto cuando se requiera.

Para determinar estas propiedades se realizan diversos ensayos, los cuales deben realizarse con el mismo personal, material, equipos y métodos de proyección que serán utilizados en terreno. El objetivo es poder simular las mismas condiciones a la de trabajo reales. Para poder determinar estas las propiedades se realizan una serie de ensayos previos a la construcción y en otros casos se extraen testigos para analizar el comportamiento.

A los ensayos y pruebas referidos se les conoce como Pruebas de Aptitud.

Algunos de los requisitos estipulados en cada uno de los códigos internacionales se muestran en la Tabla III.1.

Tabla III.1: Requisitos para el Hormigón Proyectado

Requisitos	Código					
	Europeo UNE	Europeo EFNARC	USA ACI	Austriaco ÖVBB	Noruego NB	Australiano CIA-AUSS
Resistencia a la Compresión	X	X	X	X	X	X
Resistencia Temprana	X	X	X	X	X	X
Capacidad de absorción de energía	X	X	X	X	X	
Adherencia al sustrato	X	X	X	X	X	X
Resistencia a la flexión		X	X	X	X	X
Resistencia residual	X	X				
Módulo de elasticidad	X	X				
Resistencia al hielo/deshielo		X		X	X	X
Resistencia a la penetración de agua				X	X	X
Máximo contenido en cloruros				X		
Densidad	X	X	X	X	X	
Fuerza de corte			X			X
Fisuras/grietas/hendimiento				X		X

Las normas y códigos estudiados para generar la tabla recién mostrada fueron: ACI. ACI 506.2-95, ACI 506.4R-94, ACI 506R-05, ACI 506.1R-08, ACI 506.5R-09, ACI 214.4R-10, ACI 214R-11, UNE-EN 14487-1, UNE-EN 14487-2, CONCRETE Institute of Australia, prepared by Australian Shotcrete Society, EFNARC. European Specification for Sprayed Concrete, EFNARC-Execution of Spraying (revised version of Section 8), EFNARC-Guidelines for Specifiers and Contractors, EFNARC-Cheklist for Specifiers and Contractors, Publication Nº 7, Sprayed Concrete for Rock Support - Technical Specification, ÖVBB-Austrian Association for Concrete and Structural Engineering. 93p

3.3 Clasificación del Hormigón Proyectado

Además de clasificar y/o denominar el hormigón proyectado según su consistencia y su resistencia final, los códigos de shotcrete establecen otros criterios de clasificación, tales como la clase de exposición, la resistencia temprana o la funcionalidad estructural.

En la Tabla III.2 se presentan los distintos criterios de clasificación del hormigón proyectado según los códigos en estudio. Se excluye la clasificación según resistencia residual asociada a los niveles de deformación para un ensayo de flexión de una viga, puesto que este requerimiento prácticamente no se utiliza en Chile. Además, téngase en cuenta que el concepto de Clases de Exposición guarda similitud con el de Requerimientos Especiales.

Tabla III.2: Criterios de Clasificación del Hormigón Proyectado según los distintos códigos

Código	Criterio	Clasificación	Características
Europeo UNE	Clases de Exposición	Según EN 206-1	Aplican las siguientes excepciones respecto de EN 206-1: La recomendación sobre el contenido mínimo de cemento en la mezcla básica debe ser de 300 kg/m ³ y la recomendación sobre el contenido mínimo de aire no es aplicable
	Clases de Resistencias Tempranas	J1	Según lo indicado en la sección 2.4.3 del presente trabajo de título
		J2	Según lo indicado en la sección 2.4.3 del presente trabajo de título
		J3	Según lo indicado en la sección 2.4.3 del presente trabajo de título
	Clases de Absorción de Energía	E500	Absorción de Energía de al menos 500 J para deformación hasta 25 mm
		E700	Absorción de Energía de al menos 700 J para deformación hasta 25 mm
		E1000	Absorción de Energía de al menos 1000 J para deformación hasta 25 mm
Europeo EFNARC	Clases de Absorción de Energía	E500	Absorción de Energía de al menos 500 J para deformación hasta 25 mm
		E700	Absorción de Energía de al menos 700 J para deformación hasta 25 mm
		E1000	Absorción de Energía de al menos 1000 J para deformación hasta 25 mm
	Requerimientos Especiales	Protección Contra Heladas	El hormigón será protegido contra las heladas hasta que haya alcanzado una resistencia a la compresión de 5 MPa

Código	Criterio	Clasificación	Características
Europeo EFNARC	Adherencia	No Estructural	Resistencia a la Adherencia mínima de 0,5 MPa sobre hormigón y de 0,1 MPa sobre roca
		Estructural	Resistencia a la Adherencia mínima de 1,0 MPa sobre hormigón y de 0,5 MPa sobre roca
USA ACI	Requerimientos Especiales	Proyección en Clima Cálidos	No aplicar hormigón cuando la temperatura del material está sobre 32°C si es por vía húmeda, si es por vía seca no debe ser mayor a 38° C
		Proyección en Climas Fríos	Si la temperatura está sobre los 4,5°C, pero está aumentando al menos a los 10°C, el hormigón se puede proyectar. Si la temperatura está en los 4,5°C, pero está disminuyendo, se debe dejar de proyectar el hormigón o se deben tomar medidas para protegerlo
Austriaco ÖVBB	Funcionalidad Estructural	Sin funcionalidad estructural (Clase SpC I)	Cualquier función que no requiera de un control de calidad riguroso
		Con funcionalidad estructural (Clase SpC II)	Funciones de sostenimiento y revestimiento permanente, soportes de frentes de excavación en túneles, estabilidad de taludes y trincheras. Debe especificarse el grado de resistencias tempranas (J1,J2, J3)
		Con funcionalidad estructural especial (Clase SpC III)	Revestimiento primario bajo áreas construidas o con poca tapada, revestimiento de única colocación, protección de taludes excavados y superficies en contacto permanente con agua. Debe especificarse el grado de resistencias tempranas (J1,J2, J3), aunque J3 se debe utilizar sólo si la situación lo amerita. También se aplica para la reparación de estructuras de hormigón armado, de albañilería y en general, para toda aplicación de carácter especial
	Resistencias Tempranas	J1	Según lo indicado en la sección 2.4.3 del presente trabajo de título
		J2	Según lo indicado en la sección 2.4.3 del presente trabajo de título
		J3	Según lo indicado en la sección 2.4.3 del presente trabajo de título

Código	Criterio	Clasificación	Características
Austriaco ÖVBB	Requerimientos Especiales	Con impermeabilidad	
		Con resistencia a los ciclos de hielo y deshielo	
		Con alta resistencia contra ataques químicos expansivos	
		Con alta resistencia contra ataques químicos por disolventes	
		Con resistencia de adherencia	
Noruego NB	Exposición Ambiental del Hormigón Proyectado	Algo Agresivo	A mayor agresividad se debe disminuir la relación agua cemento
		Más Agresivo	
		Muy Agresivo	
		Altamente Agresivo	
	Clases de Absorción de Energía	E700	Absorción de Energía de al menos 700 J para deformación hasta 25 mm
		E1000	Absorción de Energía de al menos 1000 J para deformación hasta 25 mm
Australiano CIA-AuSS	Hace referencia a EFNARC		

3.4 Trabajos Preparatorios

Los Trabajos Preparatorios previos a la aplicación del Hormigón Proyectado aplican tanto para la Preparación del Terreno como para la Preparación del Hormigón cuando procede, sea por constituir un hormigón proyectado de una capa previa o un hormigón antiguo de una estructura a reparar.

En la Tabla III.3 se muestra una comparación de los trabajos descritos por los diferentes códigos.

Tabla III.3: Trabajos Preparatorios para la Aplicación del Hormigón Proyectado

Código	Preparación del Terreno	Preparación de Hormigón cuando procede
Europeo UNE	<ul style="list-style-type: none"> • Retirar polvo y desechos. • Humectación previa. • Protección frente a temperaturas extremas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Retirar polvo y desechos. • Humectación previa. • Protección frente a temperaturas extremas.
Europeo EFNARC	<ul style="list-style-type: none"> • La roca suelta o pobre tendrá que ser retirada. • Determinar si es necesario un soporte. • Drenar las fugas. • Humectación previa. • Protección a condiciones climáticas adversas viento, temperaturas bajo 2°C. 	<ul style="list-style-type: none"> • Determinar causas de daños y eliminarlas. • Retirar sustrato suelto. • Eliminar los cloruros y retirar el hormigón en mal estado. • Retirar hormigón expuesto a más de 300°C. • Retirar una capa de 20 mm detrás de las barras si se encuentra sulfatado y 30 mm si el nivel de cloruro es sobrepasado.
USA ACI	<ul style="list-style-type: none"> • Preparar y compactar el terreno es fundamental. • No proyectar si esta esponjoso o congelado. • Drenar las fugas. • Superficies de acero deben estar limpias. • Superficie de hormigón limpia y porosa. • Superficie de albañilería debe ser humedecida hasta saturar deslaminación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Retirar el hormigón que está en mal estado, si presenta bolsas de arena, espacios vacíos deben ser reparados.
Austriaco ÖVBB	<ul style="list-style-type: none"> • Retirar polvo y desechos. • Humectación previa. • Evaluar la geología, temperatura e ingreso de agua al sustrato. • Determinar si es necesario ocupar reforzamiento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Retirar el hormigón que está en mal estado. • Retirar sustrato suelto.
Noruego NB	<ul style="list-style-type: none"> • Toda la roca suelta es removida. • Realizar mapeo geológico (evaluar la roca calidad). • Evaluar condiciones de drenaje. • Temperatura no debe estar debajo de los 2°C. 	
Australiano CIA-AuSS	<ul style="list-style-type: none"> • Toda la roca suelta es removida. • Determinar si es necesario un soporte. • Evaluar condiciones de drenaje. • Humectación previa. 	<ul style="list-style-type: none"> • Humectación previa. • Determinar causas de daños y eliminarlas. • Retirar polvo y desechos.

3.5 Proyección del Hormigón

La proyección del hormigón, así como las medidas de seguridad y protección para el operador son de suma importancia para el acabado y resultado final que se quiere obtener para el Shotcrete.

Para asegurar que no exista una mala aplicación, por no contarse con operadores que realicen el trabajo de manera correcta que pueda sobre afectar de manera significativa el resultado final, es necesario proveer adecuada capacitación sobre como operar los equipos, como proyectar el hormigón y sobre todo buenas condiciones de trabajo para el operador, quien es finalmente el agente responsable de el resultado final, función que debe contar siempre con la supervisión de personal especializado.

A continuación, en la Tabla III.4, se detallan algunas características relacionadas con, por una parte, proyección y acabado del hormigón proyectado, y por otra respecto de su curado y protección.

Tabla III.4: Proyección del Hormigón Proyectado

Código	Proyección	Curado y Protección
Europeo UNE	<ul style="list-style-type: none"> • Debe colocarse el hormigón minimizando el rebote. • La boquilla debe estar dirigida normalmente a la superficie. • Distancia entre la boquilla y la superficie 1-2 m. • Espesor depende de las condiciones del lugar. • No debe aplicarse una capa posterior si no es capaz de sostenerla. • Asegurar la velocidad de la corriente de aire sea la adecuada. • Como el acabado es manual puede perjudicar ala resistencia y adhesión. 	<ul style="list-style-type: none"> • Periodo mínimo de curado 12 horas, siempre que la temperatura del hormigón sea igual o superior a 5°C. • El curado puede lograrse utilizando un compuesto de curado que se proyecta sobre la superficie. • Se deben tomar especiales cuidados frente abajas temperaturas.
Europeo EFNARC	<ul style="list-style-type: none"> • El rociado del hormigón debe ser desde abajo hacia arriba para disminuir el rebote. • Boquilla con una ángulo de 90° con la superficie. • La velocidad y distancia se ajusta para obtenerla mejor adherencia. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se debe mantener la hidratación durante todo el tiempo de curado. • Si se aplica un aditivo para el curado, no se debe aplicar si se va a aplicar una nueva capa de hormigón. • Se debe tener cuidado con las bajas temperaturas hasta que el hormigón alcance una resistencia de 5 Mpa. • El curado comenzara 20 min después de la proyección si lleva aditivos acertantes y 1 hora si no, y debe realizarse por 7 días mínimo.

Código	Proyección	Curado y Protección
USA ACI	<ul style="list-style-type: none"> •Instalar una superficie que permita al operador acceder sin obstáculos. •Boquilla perpendicular a la superficie, en rincones debe estar a 45°. •No aplicar en superficies donde exista agua. •Si existen refuerzos, debe el hormigón meterse por todos lados (ser plástico). •No aplicar cuando la superficie es sobre los 32°Cy si es menor a los 4,5°C. 	<ul style="list-style-type: none"> •Inmediatamente después de aplicar el hormigón se debe curar manteniendo húmedo por 7 días o hasta que alcance la resistencia. •Comenzar la curación cuando se aplicaron todas las capas de hormigón. •Se acepta la curación natural si la humedad estas obre el 95%.
Austriaco ÖVBB	<ul style="list-style-type: none"> •Boquilla con una ángulo de 90° con la superficie. •No aplicar en superficies donde exista agua, filtrar el exceso. •modificar la velocidad y distancia para obtenerla mejor adherencia. •La proyección de hormigón debe ser desde abajo hacia arriba para disminuir el rebote. 	<ul style="list-style-type: none"> •La acción debe comenzar inmediatamente después de la proyección. •Se deben tomar especiales cuidados frente abajas temperaturas. •Si la aplicación de las diferentes capas de hormigón es lenta, se debe tener especial cuidado en mantenerlas húmedas. •Inicio fraguado dentro de los primeros 10 min y fin del fin de fraguado menor a los 60 min.
Noruego NB	<ul style="list-style-type: none"> •Espesor de estructura con malla será de 70 mm, hormigón con fibra 60 mm, cuando es muy mala la roca debe ser de 250 a 300 mm. •Boquilla en 90° con la superficie. •Consideraciones especiales para hormigón proyectado de las Zonas de Arcilla, zonas de altas tensiones y en fugas de agua. •El operador debe estar protegido contra el rebote. 	<ul style="list-style-type: none"> •Se debe tener cuidado con las bajas temperaturas hasta que el hormigón alcance una resistencia de5 Mpa. •La acción debe comenzar inmediatamente después del rociado. •Si la duración de aplicación de capas es muy prolongada debe tener especial cuidado para prevenir la deshidratación del hormigón. •Las medidas de curado son aplicar agua sobre la superficie de hormigón proyectado, aplicar una membrana sobre la superficie y aplicar aditivos químicos.
Australiano CIA-AuSS	<ul style="list-style-type: none"> •El rociado del hormigón debe ser desde abajo hacia arriba para disminuir el rebote. •Boquilla perpendicular a la superficie. •Entregar las condiciones de trabajo óptimas para el operador. •No aplicar en superficies donde exista exceso de agua. 	<ul style="list-style-type: none"> •Se debe tener cuidado con las bajas temperaturas. •La acción debe comenzar inmediatamente después de la proyección. •Se debe mantener la hidratación durante todo el tiempo de curado. •Comenzar la curación cuando se aplicaron todas las capas de hormigón.

3.6 Hormigón Proyectado con Fibras

A continuación se detalla un resumen con características del hormigón proyectado con fibras.

Tabla III.5: Hormigón Proyectado con Fibras

Código	Hormigón Reforzado con Fibras
Europeo UNE	<ul style="list-style-type: none"> • Cuando el hormigón contiene fibras el contenido de fibras del hormigón fresco no debe ser inferior a $V_f - 10\%$ (15% endurecido), donde V_f es el valor objetivo especificado. (promedio de 6 muestras). • Cuando se requiere fibras en el hormigón es necesario tener las características de las fibras y contenido de ellas, esto debe quedar prescrito en las especificaciones.
Europeo EFNARC	<ul style="list-style-type: none"> • Diferentes tipos de fibras requieren de dosificaciones diferentes para lograr los mismos rendimientos, las fibras no deben exceder 0,7 del diámetro del interior de los tubos o mangueras utilizadas, a menos que ensayos demuestren lo contrario y las fibras deben ser almacenadas de acuerdo a las especificaciones de los proveedores.
USA ACI	<ul style="list-style-type: none"> • Las fibras para el uso en hormigón proyectado pueden ser hechas de acero, vidrio, polímeros sintéticos, y materiales naturales, Las fibras para el uso en hormigón proyectado son generalmente divididas en dos grupos por su diámetro. Fibras con diámetros equivalentes mayores que 0.3 mm son conocidos como macrofibras; fibras con diámetros menos de 0.3 mm son conocidos como microfibras. • Macrofibras: Generalmente de diámetros que van desde 0.4 a 0.8 mm y los largos si son de acero son de 19 a 35 mm y si son sintéticas pueden ser de 40 a 50 mm de largo. • Microfibras: si el hormigón proyectado va a estar expuesto al fuego o explosiones las fibras deben ser de polipropileno con diámetros menores a 33 μm y largos menores a 12 mm.
Austriaco ÖVBB	<ul style="list-style-type: none"> • Para aplicaciones sujetas a esfuerzos de flexión (por ejemplo una fuerza normal), el hormigón reforzado con fibra está clasificado T1-T5, donde TS se refiere a resistencia última, además, TG1-TG5, donde TGS se refiere (o en términos) a resistencias de servicio. • Los tipos (o clases) están basados en el promedio equivalente de las resistencias a flexión medidas en el ensayo de flexión. • Los tipos de hormigón reforzado con fibra mayores que T3 o TG5 pueden solo ser obtenidos mediante medidas especiales.
Noruego NB	<ul style="list-style-type: none"> • La adición de fibras de acero, mejora significativamente la resistencia de concreto y también mejora la unión entre el hormigón y roca. Las fibras de polipropileno no se han utilizado en Noruega debido a la dureza aumenta sólo marginalmente en comparación con las fibras de acero y por las demás contribuciones positivas de las fibras de polipropileno. • Las fibras se deben agregar lentamente y de manera uniforme para evitar la formación de nidos de fibras. • Las fibras requieren un hormigón muy húmedo durante la adición.
Australiano CIA-AUSS	<ul style="list-style-type: none"> • Las fibras son cortas (hasta 65 mm de largo) y delgadas (menos de 1 mm de diámetro), típicamente de alta capacidad de tracción. • Se pueden añadir para mejorar el impacto, control de contracción, pero su principal función es darle dureza después de la proyección. • Micro-fibras son ocupadas generalmente para controlar el agrietamiento y su contenido es generalmente de 1 a 2 Kg/m³ de hormigón proyectado.

3.7 Restricciones sobre el Cemento para el Hormigón Projectado

Para que el hormigón proyectado cumpla con las exigencias requeridas, es necesario que su dosificación sea la adecuada y cumpla con las especificaciones impuestas por los códigos estudiados.

A continuación se presenta un resumen con las dosis mínimas de cemento en el hormigón proyectado y sus rangos de razón Agua Cemento A/C.

Tabla III.6: Restricciones sobre el Cemento para el Hormigón Projectado

Código	Dosis mínima de Cemento sin Adiciones	Razón Agua Cemento A/C
Europeo UNE	300 kg/m ³	
Europeo EFNARC	300 kg/m ³	Según condición de exposición hasta 0,55
USA ACI	> que 300 y 400 kg/m ³ hormigón	Según condición de exposición 0,40 a 0,45
Austriaco ÖVBB	310 a 360 kg/m ³ en Mezcla Seca 380 a 450 kg/m ³ en Mezcla Húmeda	Menor que 0,50 para clases de resistencias tempranas J2 y J3
Noruego NB	440-550 kg/m ³	Según condiciones de exposición 0,40 a 0,45
Australiano CIA-AuSS	420 kg/m ³ en Túneles Civiles 440 Kg/m ³ en Minería	0,40 a 0,48 en Túneles Civiles 0,38 a 0,45 en Minería

CAPITULO IV ANÁLISIS DE UNA VISITA A OBRA

4.1 Objetivo Visita a Obra

De modo paralelo a la comparación entre códigos, se realizó una visita a obra donde se estaba utilizando hormigón proyectado de modo intensivo, en particular, en la construcción de un túnel en roca, a objeto de analizar cómo incide en el desarrollo de las obras nacionales la falta de una normativa propia.

Previo a la descripción de los problemas, se explica el proceso constructivo de un túnel en roca.

4.2 Proceso constructivo de un Túnel en Roca

4.2.1 Partes y Etapas

Para entender la importancia del hormigón proyectado dentro de los procesos constructivos de túneles en roca, es necesario conocer cuáles son las partes de un túnel. En la Figura IV.1 se muestran las partes principales de un túnel.

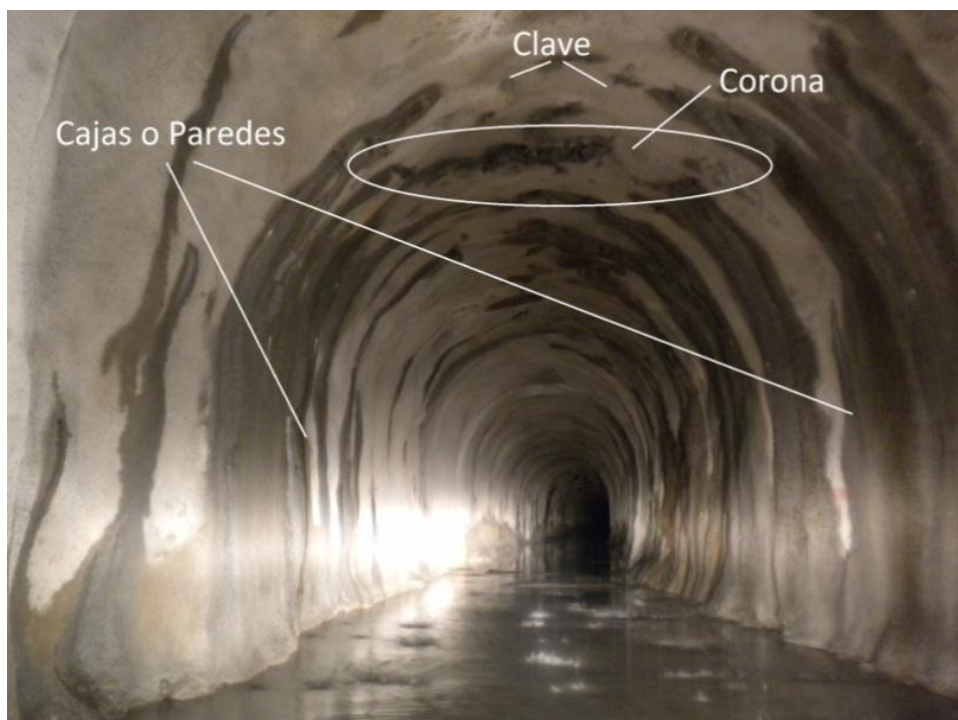


Figura IV.1: Partes principales de un túnel

Los túneles tienen una estructura y/o metodología constructiva, que consta de procesos principales y secundarios. Los procesos principales están asociados al avance del túnel, mientras que los secundarios, a los servicios mina, tales como la ventilación y los drenajes.

El proceso principal consta de las etapas que se enuncian a continuación, donde en la dos últimas, se hace presente el Hormigón Proyectado.

- Perforación
- Carguío de explosivos
- Tronadura
- Ventilación
- Extracción de marina/escombros
- Acuñadura (Remover el material inestable)
- Fortificación
- Revestimiento

A continuación, se describen las etapas de Fortificación y Revestimiento.

4.2.2 Fortificación

La fortificación se realiza para evitar eventuales derrumbes. Existen diversos tipos de fortificación, las que se pueden clasificar básicamente en fortificaciones rígidas y en fortificaciones flexibles.

El concepto de funcionamiento de las fortificaciones rígidas es minimizar las deformaciones del túnel excavado, junto con sujetar los bloques que pudieran caerse. Se materializan mediante marcos fijos que siguen el contorno del túnel. Se usan habitualmente en los accesos de los túneles y en sectores donde se han perdido las propiedades resistentes de la roca.

Los sistemas más usados para estas fortificaciones son los marcos de acero, como se muestra en la Figura IV.2.

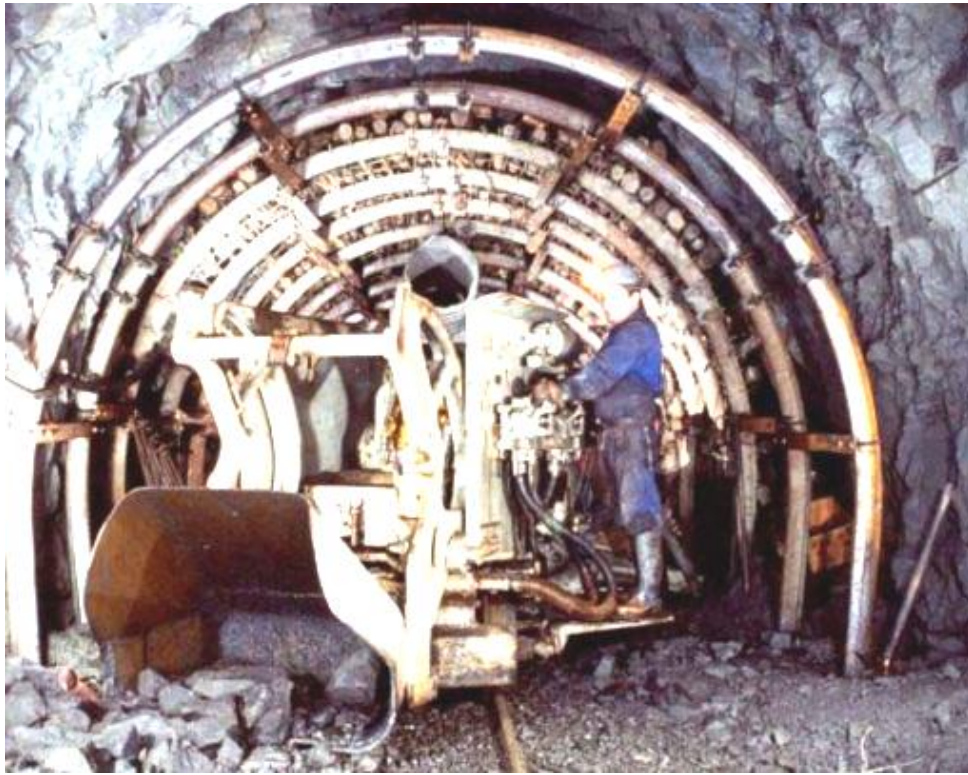


Figura IV.2: Fortificación con Marcos de Acero

Por su parte, la lógica de funcionamiento de las fortificaciones flexibles es que la roca del túnel excavado pueda deformarse, lo que permite que se alivien los esfuerzos y que la resistencia de la excavación mejore. Para ello, se utilizan mallas de acero, anclajes de roca y hormigón proyectado.

Según sea la necesidad, los sistemas mencionados pueden utilizarse solos o combinados, aunque en el caso del hormigón proyectado, lo usual es que actúe en conjunto con mallas de acero, o en su defecto, con fibras.

En la Figura IV.3 se aprecia la aplicación de hormigón proyectado, aunque cumpliendo la doble misión de fortificación y revestimiento.

4.2.3 Revestimiento

Debido a que las rocas se deterioran por efecto del agua y de las condiciones de ventilación, entre otros factores, en determinadas ocasiones se hace necesaria la aplicación de hormigón proyectado como revestimiento protector, sobre todo, en la entrada de los túneles, como se aprecia en la ya referida Figura IV.3.



Figura IV.3: Aplicación de Hormigón Proyectado

El espesor de hormigón proyectado, los materiales constituyentes y aditivos, dependen del sustrato en el cual se esté presente.

4.3 Problemas detectados en la Visita a Obra

Comprendidas ya las etapas de la ejecución de los túneles en roca donde se utiliza hormigón proyectado, es posible pasar a analizar los problemas detectados durante la Visita a Obra. Algunos de los tópicos donde se observaron problemas fueron:

- Hormigón Proyectado con áridos fuera de banda
- Retraso en la aplicación del Hormigón Proyectado (Preguntas acerca de Resistencias Tempranas)
- Clasificación Incorrecta del tipo de roca
- Aplicación deficiente del Hormigón Proyectado
- Aparición de fisuras
- Mala ventilación
- Condiciones de Equipamiento deficiente
- Condiciones de calificación deficientes

A continuación se entrega un detalle de los principales problemas observados.

4.3.1 Hormigón Proyectado con áridos fuera de banda

Se observó en la planta de fabricación de hormigón que la arena era demasiado fina, estaba por debajo de los índices permitidos, lo cual trae como consecuencia no utilizar los equipos de proyección de manera óptima.

4.3.2 Retraso en la aplicación del Hormigón Proyectado

Estando dentro del túnel se presenciaron un par de veces retrasos de más de 1 hora en la llegada del camión con shotcrete para proyectar. La llegada del camión debería ser inmediatamente después de la acuñadura y del retiro total de la marina, puesto que lo contrario puede causar grietas, desprendimientos e incluso el colapso del túnel. Además, un retraso en el soporte del túnel genera un retraso en el ciclo de excavación del mismo.

Este problema es causado por una mala coordinación entre la persona que planifica el pedido del hormigón proyectado por un lado y el que recibe la notificación en la planta de hormigón por el otro. Sin embargo, el análisis más relevante va en otra dirección. Como lo comentaban los operadores, estos retrasos se suceden de modo relativamente frecuente sin mayores consecuencias.

Sin embargo, dado que habitualmente no trae mayores consecuencias técnicas, permite preguntarse hasta qué punto es necesario el requerimiento de las resistencias tempranas que solicitan algunos proyectos en los primeros minutos.

4.3.3 Clasificación incorrecta del tipo de roca

Otro problema no menor, es una incorrecta clasificación de la roca a lo largo del túnel.

La roca debe ser clasificada por geólogos, esta clasificación debe incluir toda la extensión de la futura construcción del túnel. El problema que se presentó fue que durante la inspección en terreno se observó que en algunos casos la clasificación entregada por los geólogos no correspondía a la clasificación del macizo rocoso in situ, es decir que en algunos casos la roca observada en el túnel era de mejor o peor calidad que la conocida antes de la construcción del túnel.

Este problema llevaba a una incorrecta aplicación de espesor de hormigón proyectado, el cual influye en términos no solo de capacidad y resistencia frente a solicitudes, sino que también influye en tiempo y costos de trabajo.

4.3.4 Aplicación deficiente del Hormigón Proyectado

La proyección del hormigón realizada por los operadores no fue la correcta. Se observó que el operador no contaba con la experiencia suficiente para aplicar el hormigón.

El hormigón proyectado se debe aplicar desde abajo hacia arriba, de un lado primero y luego del otro, y en terreno se vio que el operador no lo realizaba como dicen las especificaciones técnicas.

Una correcta aplicación se puede lograr capacitando a los operadores y teniendo un supervisor calificado en terreno observando que los trabajos de proyección se cumplan de acuerdo a las exigencias.

4.3.5 Aparición de fisuras

Se observaron fisuras de diversos tamaños, estas se deben a que se realizó un mal tratamiento de las juntas de hormigón. Otra causa es debido a una aplicación del hormigón en forma poco pareja, lo que lleva a que algunas zonas de hormigón deban soportar más cargas o simplemente que las capas de menor espesor no sean capaces de resistir las cargas para las cuales estaba diseñado.

Estas fisuras podrían prevenirse en gran medida si existiese un control o supervisión constante de algún especialista, el cual no se observó, y de una correcta ejecución de los trabajos de los distintos agentes que participan en el proceso.

4.3.6 Mala ventilación

La mala ventilación dentro del túnel afecta en forma directa a los operadores del hormigón proyectado, la presencia de humedad y calor no permite el correcto trabajo de los agentes involucrados, trayendo como consecuencia un retraso en las actividades de avance en la frente.

Esto se puede solucionar instalando equipos de ventilación de mayor capacidad y un correcto diseño de instalación, tanto de los ventiladores como de las mangas de ventilación.

4.3.7 Condiciones de Equipamiento deficientes

Se tuvo la posibilidad de observar y conversar con los operadores que existen equipos de proyección del hormigón en mal estado, los cuales fallan constantemente. Además los operadores comentaron que existe una falta real de mecánicos en terreno, lo cual retrasa toda actividad de proyección debido a que si se presenta alguna falla en los equipos, estos no pueden ser reparados de forma temprana. Además no existen equipos de recambio en caso de tener algún problema.

Muchas veces no se puede tener equipos de recambio en el lugar de trabajo, debido a los costos y espacios no disponibles que esto trae, pero con una buena supervisión y un buen mantenimiento a los equipos de proyección se pueden mejorar de manera notable el avance de la construcción de los túneles.

4.4 Calificación de Operadores para Hormigón Proyectado

La situación nacional frente al hormigón proyectado es bastante deficiente en la mayoría de los aspectos relacionados con esta tecnología, que van desde el diseño de la mezcla, pasando por la coordinación y planificación, hasta llegar a la aplicación y supervisión.

Es en la aplicación donde se debe hacer un especial cuidado, ya que si no se cuenta con un grupo de operadores calificados para el trabajo de proyección del hormigón, esta situación puede convertirse en un problema para la construcción de túneles u otros tipos de proyectos.

Con la Visita a Obra, se pudo observar los principales problemas asociados a esta práctica. De la misma forma se puede entregar una serie de recomendaciones para mejorar las actividades relacionadas con la proyección del hormigón que influyen directamente en el avance de los trabajos y una disminución de los costos de proyecto y riesgos humanos que se pueden llegar a producir.

4.5 Composición y deberes en un equipo de trabajo

Para poder realizar las actividades que llevan una correcta aplicación del hormigón proyectado, es necesario contar con al menos un equipo básico de personas, que deberá estar compuesto por un capataz, un operador o aplicador del hormigón proyectado (conocido también como pitonero), una persona que realice los trabajos de terminaciones, un ayudante del pitonero, un operador de la mezcla y trabajadores adicionales si fuesen necesarios.

Algunas tareas las puede realizar la misma persona, por ejemplo el capataz puede ser también el operador y en algunos casos es necesario más de un operador.

Otros trabajos pueden requerir de un superintendente o de un ingeniero y en algunos casos de ambos.

A continuación se detallan los deberes de los miembros más relevantes de un equipo de trabajo para la aplicación del hormigón proyectado.

4.5.1 Deberes del capataz

El capataz dirige y coordina el trabajo de cada miembro del equipo de hormigón proyectado para obtener una aplicación acertada.

El capataz planea y organiza el equipo y trabajo, supervisa procedimientos de control de la calidad. El capataz es responsable de la inspección y el mantenimiento del equipo, además del pedido y aceleramiento de la entrega de materiales.

El capataz pone el ritmo de trabajo, mantiene la buena relación entre el equipo de trabajo y actúa como el enlace al supervisor general o al equipo de inspección del mandante.

El capataz es por lo general un pitonero veterano y debería ser capaz de suplantar cualquiera de las posiciones de ser requeridas.

4.5.2 Deberes del operador

El operador o pitonero es una persona clave en la proyección del hormigón y es responsable de aplicar el hormigón proyectado de acuerdo a las exigencias requeridas por el proyecto.

Los deberes del pitonero incluyen la coordinación de la aplicación con el capataz y con el encargado de realizar las terminaciones.

Antes de proyectar el hormigón, el pitonero debería ver que todas las superficies estén limpias, sanas, y sin el material suelto, y que los refuerzos estén correctamente colocados y con sus espacios correspondientes. Además, un operador debería ser capaz de identificar si la mezcla es apta o no para su aplicación. El operador es el responsable de mantener el equipo en perfectas condiciones, limpieza y mantenciones periódicas.

4.5.3 Deberes del operador del mezclador

Los deberes del operador de mezclador incluyen, donde sea aplicable, proporcionar y mezclar el material, mantener y limpiar el equipo que se mezcla.

El operador del mezclador es responsable del almacenaje, cuidado y accesibilidad de los materiales.

El operador del mezclador ve que la mezcla esté sin materiales extraños y que contenga el grado de humedad apropiado.

El operador del mezclador debe asegurar un flujo constante de hormigón para proyectar, pero también debe procurar no mezclar más material que el que puede ser usado dentro de los límites de tiempo especificados.

4.5.4 Deberes del ingeniero o superintendente a cargo

En proyectos grandes o complicados, un ingeniero de hormigón proyectado o un superintendente pueden ser aconsejables para supervisar las tareas.

El ingeniero de hormigón proyectado o el superintendente son responsables de la selección de material, supervisar pruebas de aptitud, calificar y seleccionar el equipo adecuado de trabajo, planificar y programar el proyecto, y velar por el cumplimiento del control de calidad.

CAPITULO V CONCLUSIONES

5.1 Conclusiones de Comparación de Códigos

De la comparación de los códigos, basado en cierta forma en los tópicos de mayor interés nacional, los que se detectaron de la lectura de especificaciones técnicas de proyectos chilenos, se deduce que los códigos más utilizados en el país son el EFNARC, European Specification for Sprayed Concrete, 1996 y el ÖVBB, Sprayed Concrete Guideline, 2006.

Los referidos códigos constituyen además la base de los códigos europeos comunitarios UNE-EN 14487-1 y UNE-EN 14487-2, lo que demuestra la fortaleza de los primeros y un buen ejemplo a seguir. El código europeo EFNARC ha sido utilizado fundamentalmente para la regulación del hormigón proyectado con fibra y sus ensayos asociados, mientras que el código austriaco ÖVBB, para la regulación de las resistencias tempranas y sus ensayos asociados.

Los códigos ACI del comité 506, relativos a hormigón proyectado, no han tenido mucha relevancia en el medio nacional, aunque día a día van siendo más estudiados y seguidos, sobre todo, porque ofrecen más elementos de juicio respecto del hormigón con fibra y de las resistencias tempranas, permitiendo de este modo, no adoptar siempre los criterios más restrictivos. Además, como se estudió en los códigos complementarios, el ACI tiene un código especial para la evaluación del hormigón proyectado.

Respecto de los códigos noruego y australiano, en Chile no se tiene mucho conocimiento de ellos, aunque el primero se caracteriza por estar más enfocado a túneles en roca y el segundo, a recomendaciones de carácter práctico y de condiciones de suelo, sin embargo el código australiano es una guía de buenas prácticas muy claras y con ejemplos que ayudan bastante al uso cotidiano del hormigón proyectado.

En suma, para la elaboración de una normativa nacional, se recomienda seguir los códigos EFNARC, el código ÖVBB y los códigos ACI.

5.2 Conclusiones de Visita a Obra

El hormigón proyectado o shotcrete contempla varios parámetros a ser considerados para su correcto uso; diseño de la mezcla y materiales constituyentes de acuerdo a las exigencias del proyecto, análisis del entorno para una correcta aplicación del hormigón proyectado, equipos de trabajo que den la seguridad a los operadores y realicen las tareas de proyección de manera eficiente y correcta, operadores y supervisores capacitados para realizar el trabajo, entre otros.

Hoy en día el hormigón proyectado es una herramienta fundamental para los procesos constructivos de obras civiles, en especial como soporte del sustrato en proyectos de tunelería. La situación actual de Chile en términos de hormigón proyectado, se encuentra en un proceso de aprendizaje donde queda mucho trabajo por hacer.

Al inicio de cada proyecto en los que se considera el uso de hormigón proyectado se recomienda definir los requisitos de servicio y condiciones especiales que pueda presentar el proyecto a construir. Estos requisitos podrán entregar diferentes alternativas de hormigón proyectado a los agentes involucrados en el proceso.

Por una parte, coordinar y planificar todo el proceso de la construcción de túneles, ya que la etapa de proyección del hormigón es fundamental para el avance en la frente. Al coordinar de manera eficiente las operaciones se logrará bajar de manera significativa los tiempos y costos de la ejecución del proyecto, debido a que como se observó en la Visita a Obra existen retrasos entre el retiro de la marina y la proyección del hormigón más de 1 hora, fundamentalmente debido a la mala planificación o solicitud del hormigón a la planta.

De igual manera que la de realizar una correcta planificación para pedir el hormigón a la planta, se encuentra un correcto diseño y supervisión de la mezcla y los materiales constituyentes. Teniendo en consideración las exigencias del proyecto se puede generar un hormigón que entregue confianza y durabilidad a través del tiempo. Pero ello debe ser cuidadosamente supervisado por un especialista, que sea capaz de determinar, por ejemplo, si la arena se encuentra dentro de la granulometría exigida no solo para su correcta unión al resto de los materiales constituyentes, sino que para que los equipos trabajen como corresponde.

Sin lugar a duda el mayor problema o el déficit de información o experiencia se encuentra en el equipo de supervisión y proyección del hormigón, si no existe un operador capacitado para realizar el proceso de proyección de manera correcta, esta aplicación puede convertirse en una pérdida de costo y de tiempo de avance en la frente de un proyecto de túneles.

De la misma forma si no se cuenta con un supervisor, capataz o ingeniero a cargo capacitado para solucionar problemas que se presenten en terreno o no sea capaz de dirigir al grupo de operadores de manera eficiente, puede traer conflictos internos, malas prácticas o simplemente un trabajo realizado de mala manera.

Es por ello que es fundamental, antes que todo, formar un equipo humano de trabajo y disponer de maquinarias de acuerdo a las exigencias del proyecto a realizar. Capacitar a los operarios y supervisores y entregarles las herramientas necesarias para realizar las tareas de manera correcta y no poner en riesgo su salud frente a los posibles daños que puede traer la proyección del hormigón.

Actualmente, existen equipos de proyección de alta categoría, como los robotizados con cabinas cerradas, para que el operador pueda proyectar el hormigón sin recibir los polvos asociados a la proyección o el rebote del hormigón, además de protegerse frente a desprendimientos de roca dentro de los túneles.

5.3 Trabajo Futuro

Según los alcances obtenidos en el presente trabajo de título se proponen a continuación trabajos a futuro que resultan relevantes para el desarrollo del tema central de este Trabajo de Título.

Es fundamental poder contar con una normativa que regule la aplicación del hormigón proyectado en Chile, que cumpla con las exigencias mínimas requeridas de los diferentes proyectos donde es involucrado este método de apoyo o sostenimiento del sustrato.

Esta normativa debe ser realizada con la ayuda de los parámetros y exigencias entregadas por los códigos internacionales y fundamentalmente por la experiencia entregada a través de la historia nacional con proyectos donde se ha ocupado el hormigón proyectado.

Certificar a los diversos agentes involucrados en la proyección del hormigón, esta tarea se puede realizar con la presencia de especialistas internacionales y con un correcto aprendizaje de las tareas que rodean a este método de sostenimiento y apoyo.

El presente trabajo de título, pretende acercar los códigos internacionales a dicha tarea, es por ellos que se plantea como trabajo futuro el poder concretar una normativa nacional para el hormigón proyectado en Chile.

CAPITULO VI REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AMERICAN Concrete Institute, ACI. ACI 506.2-95, Specification for Shotcrete. EE.UU., 1995. 8p.
- [2] AMERICAN Concrete Institute, ACI. ACI 506.4R-94, Reapproved 2004, Guide for the Evaluation of Shotcrete. EE.UU., 2004. 12p.
- [3] AMERICAN Concrete Institute, ACI. ACI 506R-05, Guide to Shotcrete. EE.UU., 2005. 40p.
- [4] AMERICAN Concrete Institute, ACI. ACI 506.1R-08, Guide to Fiber-Reinforced Shotcrete. EE.UU., 2008. 14p.
- [5] AMERICAN Concrete Institute, ACI. ACI 506.5R-09, Guide for Specifying Underground Shotcrete. EE.UU., 2009. 52p.
- [6] AMERICAN Concrete Institute, ACI. ACI 214.4R-10, Guide for Obtaining Cores and Interpreting Compressive Strength Results. . EE.UU., 2010. 17 p.
- [7] AMERICAN Concrete Institute, ACI. ACI 214R-11, Guide to Evaluation of Strength Test Results of Concrete. EE.UU., 2011. 16 p.
- [8] ASOCIACIÓN Española de Normalización y Certificación, AENOR. UNE-EN 14487-1, Hormigón Proyectado, Parte 1: Definiciones, especificaciones y conformidad. España, 2008. 36p.
- [9] ASOCIACIÓN Española de Normalización y Certificación, AENOR. UNE-EN 14487-2, Hormigón Proyectado, Parte 2: Ejecución. España, 2008. 20p.
- [10] CONCRETE Institute of Australia, prepared by Australian Shotcrete Society. Recommended Practice Shotcreting in Australia. 2nd Edition. Australia, 2010. 84p.
- [11] EUROPEAN Federation of National Associations Representing producers and applicators of specialist building products for Concrete, EFNARC. European Specification for Sprayed Concrete. UK, 1996. 30p.
- [12] EUROPEAN Federation of National Associations Representing producers and applicators of specialist building products for Concrete, EFNARC. European Specification for Sprayed Concrete, Execution of Spraying (revised version of Section 8). UK, 1999. 8p.

- [13] EUROPEAN Federation of National Associations Representing producers and applicators of specialist building products for Concrete, EFNARC. European Specification for Sprayed Concrete, Guidelines for Specifiers and Contractors. UK, 1999. 31p.
- [14] EUROPEAN Federation of National Associations Representing producers and applicators of specialist building products for Concrete, EFNARC. European Specification for Sprayed Concrete, Checklist for Specifiers and Contractors. UK, 2002. 12p.
- [15] INSTITUTO Nacional de Normalización, INN (Chile). NCh1998.Of1989, Hormigón - Evaluación estadística de la resistencia mecánica. Chile, 1998. 25 p.
- [16] INSTITUTO Nacional de Normalización, INN (Chile). NCh1171/1.Of2001, Hormigón - Testigos de hormigón endurecido - Parte 1: Extracción y Ensayo. Chile, 2001. 15 p.
- [17] INSTITUTO Nacional de Normalización, INN (Chile). NCh1171/2.Of2001, Hormigón - Testigos de hormigón endurecido - Parte 2: Evaluación de resultados de resistencia mecánica. Chile, 2001. 9 p.
- [18] NORSK Betongforening, NB (Norwegian Concrete Association). Publication Nº 7, Sprayed Concrete for Rock Support - Technical Specification, Guidelines and Test Methods. Noruega, 1999. 102p.
- [19] ÖSTERREICHISCHE Vereinigung für Beton und Bautechnik, ÖVBB (Austrian Association for Concrete and Structural Engineering). Sprayed Concrete Guideline. Austria, 2006. 90p.
- [20] ÖSTERREICHISCHE Vereinigung für Beton und Bautechnik, ÖVBB (Austrian Association for Concrete and Structural Engineering). Richtlinie Spritzbeton. Austria, 2009. 93p.

ANEXO A

TABLAS RESUMEN DE CÓDIGOS INTERNACIONALES

A.1 UNE-EN 14487-1, 2008. Hormigón Proyectado, Parte 1: Definiciones, especificaciones y conformidad

	Clasificación	Descripción
UNE 14487-1	Consistencia de la Mezcla Húmeda	<p>La clasificación del hormigón de mezcla húmeda antes de ser proyectado, se clasifica como se muestra a continuación:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Slump classes/clases de asentamiento • Vebe classes • Compaction classes/ clases de compactación • Flow classes/clases de flujo • Por tamaño de áridos, en donde el hormigón es clasificado según el tamaño máximo
	Clase de Exposición ¹	<p>Los valores límite para la composición del hormigón se clasifican según los siguientes medios de exposición:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Frente al ataque químico de aguas subterráneas • Ningún riesgo de corrosión o ataque • Corrosión inducida por carbonatación • Corrosión inducida por cloruros que no sean de agua de mar • Corrosión inducida por cloruros del agua de mar • Ciclo hielo deshielo, con o sin ataque de agentes anticongelantes • Ataque químico • Frente al ataque químico de suelo natural <p>Y estas se aplican para el hormigón proyectado con las siguientes excepciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • La recomendación sobre el contenido mínimo de aire no es aplicable. • La recomendación sobre el contenido mínimo de cemento en la mezcla básica debe ser de 300 kg/m³.

Tabla A.1: UNE-EN 14487-1, 2008 / Clasificación del Hormigón

¹Las clases de exposición para ser seleccionadas dependen de las provisiones válidas en el lugar de uso del hormigón. Esta clasificación de exposición no condiciones especiales que existen en el lugar de uso del excluye la consideración de hormigón o la aplicación de medidas protectoras como el uso de acero inoxidable u otra corrosión resistente metal y el uso de capas protectoras para el hormigón o el refuerzo.

UNE 14487-1	Hormigón Proyectado Joven	Puede clasificarse también de acuerdo con los intervalos del desarrollo de su resistencia a corta edad y esta se basa en la velocidad de endurecimiento de acuerdo a los procesos y requisitos de producción elegidos. El desarrollo de la resistencia a corta edad debe determinarse con el método de penetración de aguja y/o el método de hincado del clavo de acuerdo con el intervalo de resistencia esperado descrito en la tabla 1 de la referencia [8].
	Resistencia a Compresión ²	El hormigón es clasificado con respecto a su fuerza compresiva, para el peso normal y el hormigón de peso pesado o para el hormigón ligero.
	Hormigón Proyectado Reforzado con Fibras	El hormigón proyectado reforzado con fibras tiene propiedades adicionales y/o complementarias, algunas de las cuales están relacionadas con la resistencia residual y la capacidad de absorción de energía. <ul style="list-style-type: none"> •Clases de resistencia residual La clasificación de la resistencia residual se realiza mediante la especificación de un nivel de resistencia a un cierto intervalo de deformación, como se muestra en la tabla 2 de la referencia [8], se denota mediante la combinación de los símbolos para el intervalo de deformación y el nivel de resistencia especificados, por ejemplo, Clase D2S2 significa que la resistencia residual debe exceder de 2 MPa entre 0,5 mm y 2 mm de deformación. <ul style="list-style-type: none"> •Capacidad de absorción de energía Esta debe determinarse a partir de una placa de una probeta ensayada, en donde la clase de absorción se denota, por ejemplo, E500 en donde la absorción de energía es de 500 J para deformación hasta 25mm, ver tabla 3 de la referencia [8].

Tabla A.2: UNE-EN 14487-1, 2008 / Continuación de Clasificación del Hormigón

²En niveles de fuerza de intermedio de casos especiales entre aquellas tablas puede ser usado si este es permitido el diseño estándar correspondiente

	Requisitos para el Hormigón Proyectado	Descripción
UNE 14487-1	Requisitos para los Materiales Constituyentes	<p>Los materiales constituyentes no deben tener ingredientes perjudiciales en cantidades que puedan dañar al hormigón o la armadura. Cuando se estable las aptitud general de un material, esto no significa que sea apto para todas las situaciones y composiciones del hormigón proyectado. Los requisitos para los materiales constituyentes están en la tabla4 de la referencia [8].</p> <p>Cuando esta norma no cubra el material en particular o su comportamiento esperado, un documento de índole europea debe referirse a al uso de este material ocupado o una norma o disposición nacional del lugar de utilización debe referirse a la utilización de este material en el hormigón proyectado.</p>
	Requisitos para la Composición del Hormigón Proyectado	<p>Las proporciones de la mezcla de hormigón deben seleccionarse para satisfacer todos los criterios de comportamiento para el hormigón fresco y endurecido, teniendo en cuenta ejecutan los trabajos de proyección. Estos requisitos dependen de la vida útil del hormigón proyectado.</p> <p>Los valores para la composición del hormigón se refieren al hormigón después de su proyección y tienen en cuenta la influencia del agua y la adición de aditivos acelerantess.</p> <p>Los requisitos para la composición del hormigón están dados por la tabla 5 de la referencia [8].</p>
	Requisitos de la Mezcla Básica	<p>Se debe tener especial consideración con la consistencia de la mezcla básica húmeda y la temperatura, además la consistencia del hormigón requerida para la proyección</p> <p>Depende del tipo de transporte y del procedimiento de aplicación. Dichos requerimientos se muestran en la tabla 6 de la referencia [8].</p>

Tabla A.3: UNE-EN 14487-1, 2008 / Requisitos para el Hormigón Proyectado

UNE 14487-1	Requisitos para el Hormigón Proyectado Fresco	Se debe tener especial consideración con la densidad y contenido de fibras en el hormigón proyectado fresco, la muestra se debe tomar in situ a menos que se especifique lo contrario. Dichos requisitos se muestran en la tabla 7 de la referencia [8].
	Requisitos para el Hormigón Proyectado Endurecido	Cuando se especifique los requerimientos deben estar de acuerdo a la tabla 8 de la referencia [8], la especificación viene dada por los requerimientos de la tabla 9 de la referencia [8], y como mínimo, debe especificarse la resistencia a compresión. Los requerimientos son principalmente propiedades relacionadas con resistencia a temprana edad, resistencia a compresión, densidad, módulo de elasticidad, resistencia a flexión, resistencia a la penetración de agua, resistencia al hielo/deshielo, además hay requerimientos especiales para hormigón proyectado reforzado con fibras, los cuales son resistencia a flexión del primer pico, resistencia última flexión, resistencia residual, contenido en fibras y capacidad de absorción de energía.

Tabla A.4 : UNE-EN 14487-1, 2008 / Continuación de Requisitos para el Hormigón Proyectado

	Especificación para el hormigón proyectado	Descripción
UNE 14487-1	Generalidades	<p>Se debe especificar como un hormigón diseñado referido a la clasificación y requisitos dados, o como prescrito en base a los resultados de los ensayos iniciales o a la información obtenida de experiencias a largo plazo con hormigón proyectado patrón.</p> <p>Las exigencias básicas deben indicarse en las especificaciones del proyecto y cuando se requieran requerimientos adicionales se deben especificar también.</p>
	Datos para la Especificación de Mezclas Diseñadas	<ul style="list-style-type: none"> • Datos básicos: Consistencia (si procede), clase de resistencia a compresión, clase de exposición, clase de cloruro, categoría de inspección, tamaño nominal máximo de árido, y si el hormigón es reforzado con fibras se requiere de resistencia residual y/o capacidad de absorción de energía. • Datos adicionales: contenido de cemento, requisitos especiales para las propiedades del cemento (por ejemplo, cemento resistente a los sulfatos), relación agua/cemento máxima relativa a las clases de exposición, desarrollo de la resistencia a corta edad, adherencia al sustrato, resistencia a la penetración de agua, resistencia al hielo/deshielo (con o sin sales de descongelación), módulo de elasticidad y si el hormigón es reforzado con fibras: resistencia última a flexión y resistencia a flexión del primer pico
	Datos para la Especificación de Mezclas Prescritas	<ul style="list-style-type: none"> • Datos básicos: la mezcla prescrita debe especificarse de acuerdo lo siguiente, tipo y clase de cemento, contenido de cemento, consistencia de la mezcla húmeda, relación agua/cemento, tipo de árido y limitaciones de tamaño, tipo y cantidad de aditivos, tipo y cantidad de adiciones, fuentes de todos los constituyentes del hormigón, categoría de inspección y en el caso de que el hormigón este reforzado con fibras se requiere de la característica de las fibras y contenido de ellas. • Datos adicionales: requisitos adicionales para los áridos y requisitos especiales relativos a la temperatura de la mezcla básica

Tabla A.5 : UNE-EN 14487-1, 2008 / Especificaciones para el Hormigón Proyectado

	Evaluación de la conformidad	Descripción
UNE 14487-1	Generalidades	<p>La conformidad debe evaluarse mediante el control previo a la construcción así como mediante ensayo durante la ejecución, y se aplica de acuerdo con la categoría de inspección aplicable. El control de producción incluye el control del proceso y el control del hormigón proyectado. La conformidad se juzga frente a los criterios de conformidad tanto para la etapa previa como para la ejecución, y este criterio lleva a aceptarlo o llevarlo a la acción correcta. Si los resultados de los ensayos de conformidad no cumplen los requisitos, se debe realizar ensayos adicionales.</p>
UNE 14487-1	Categorías de Inspección	<p>Para el control de la conformidad del hormigón proyectado debe especificarse una de las siguientes categorías de inspección: categoría de inspección 1, categoría de inspección 2 y categoría de inspección 3. La elección de esta categoría debe determinarse por el diseñador y el propietario, teniendo en cuenta las características del proyecto. Como forma de guiar la selección de la categoría, se entregan las tablas A1, A2 y A3 de la referencia [8], estas tablas están sujetas a las disposiciones nacionales validas en el lugar de utilización del hormigón proyectado.</p>
UNE 14487-1	Ensayos Previos a la Construcción	<p>Los ensayos previos se deben realizar de acuerdo a las indicaciones de la tabla 9 de la referencia [8], a menos que se indique lo contrario, y deben llevarse a cabo sobre una cantidad importante de hormigón de forma que el flujo sea uniforme. Los ensayos previos a la construcción deben realizarse con el mismo personal, material, equipos y métodos de proyección que los que serán utilizados en la producción, pero cuando se dispone de experiencia en un equipos no es necesario los ensayos previos. El diseño del hormigón y las relaciones de diseño deben restablecerse cuando exista un Cambio en los materiales constituyentes, composición, personal o equipo.</p>

Tabla A.6 : UNE-EN 14487-1, 2008 / Evaluación de la Conformidad

UNE 14487-1	Control de Producción	<p>El control de producción comprende todas las medidas necesarias para mantener y regular la calidad del hormigón proyectado de conformidad con los requisitos especificados. Este control debe relacionarse con las características del proyecto. Se debe controlar los materiales constituyente, la mezcla básica y las propiedades del hormigón proyectado(véase las tablas10, 11 y 12de la referencia [8]).</p> <ul style="list-style-type: none"> •Control de los materiales constituyentes: consiste en controlar materiales como cemento, áridos, aditivos, adiciones en polvo, agua, fibras y control especial para el hormigón ligero. El control en caso de duda debe realizarse independiente a la categoría de inspección. Se recomienda que las muestras se tomen en cada entrega y se almacenen. Este control se debe realizar de acuerdo a la tabla 10 de la referencia [8]. •Control de la mezcla básica: el control de la mezcla básica debe realizarse con la tabla 11de la referencia [8]., en donde se controla principalmente la consistencia cuando se utiliza el método de la mezcla húmeda, contenido de aditivos excepto acelerantes, contenido de adiciones y contenido de fibras. •Control de las propiedades del hormigón proyectado: el hormigón se debe ensayar de acuerdo a los parámetros entregados en la tabla 12de la referencia [8].Las frecuencias de ensayo se refieren a la situación de producción continua normal. Debería aplicarse una frecuencia de ensayo cuatro veces mayor en el inicio de un periodo de trabajo continuo o durante ciertas partes críticas de un proyecto. Sin embargo, normalmente no deberían ser necesarios más de dos ensayos por día de trabajo. Debe aplicarse una frecuencia normal después de cuatro resultados aceptables consecutivos. La velocidad mínima de toma de muestras y de ensayo para el control de producción del hormigón debe ser a la velocidad que proporcione el mayor número de muestras, se debe tomar las muestras con respecto a los volúmenes indicados en la tabla 12de la referencia [8] , para volúmenes menores se debe tomar al menos una muestra.
-------------	-----------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Tabla A.7 : UNE-EN 14487-1, 2008 / Continuación de Evaluación de la Conformidad

UNE 14487-1	Criterios de Conformidad	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollo de resistencia a corta edad: Se obtiene si los puntos de datos de la resistencia a compresión f_c [MPa] frente al tiempo caen en el área de las clases de resistencia a corta edad como se define en la "Clasificación-Hormigón proyectado joven" • Resistencia a compresión: La conformidad de la resistencia a compresión del hormigón proyectado se evalúa para dos criterios, grupos de "n" resultados de ensayo individuales consecutivos x_n y para cada resultado de ensayo individual x_i, de la tabla 13 de la referencia [8], donde cada ensayo individual es la media de 5 probetas, si una o dos probetas tienen Diferencias del $\pm 20\%$ se desprecian para los calculo. • La conformidad a la resistencia a la penetración de agua, hielo/deshielo, consistencia arrancamiento se obtienen si los resultados del ensayo satisfacen el valor limite. • Cuando el hormigón contiene fibras el contenido de fibras del hormigón fresco no debe ser inferior a $V_f - 10\%$ (15% endurecido), donde V_f es el valor objetivo especificado. (prom. de 6 muestra). La resistencia a flexión del primer pico se obtiene cuando el valor promedio de las 3 probetas cumple con el requisito de resistencia última a flexión, o cuando ningún ensayo se desvía más del 25% del valor medio. La resistencia residual se obtiene cuando se cumpla con la tabla 2 de la referencia [8], y ningún puto debe estar bajo el 10% del límite de la resistencia especificada. Por último la capacidad de absorción de energía se obtiene cuando al menos 2 de 3 paneles de ensayo cumple con las especificaciones de la tabla 3 de la referencia [8].
-------------	--------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Tabla A.8 : UNE-EN 14487-1, 2008 / Continuación de Evaluación de la Conformidad

A.2 UNE-EN 14487-2, 2008. Hormigón Projectado, Parte 2: Ejecución

	Documentación	Descripción
UNE 14487-2	Especificación del Proyecto	Como mínimo debe incluir: tipo de proyecto, propósito del hormigón proyectado, categoría de inspección de acuerdo a lo descrito en la UNE-EN 14487-2 requisitos relativos a la salud y seguridad, cualificación personal, si se requiere requisitos para asegurar la calidad, normas nacionales dependen del lugar aplicación, procedimientos para hacer modificaciones, diseños relevantes, cuando sea para reforzar el terreno se debe contar con tipo de terreno, principios aplicados a al diseño de este, particularidades del terreno, y para la reparación mejora y estructuras auto portantes se requiere de acabado superficial, espesor, principios y objetivos del diseño estructural.
	Documentación de la Ejecución	Si se requiere, debe prepararse un plan de calidad para la ejecución de la obra incluyendo una lista completa de las referencias correspondientes

Tabla A.9 : UNE-EN 14487-2, 2008 / Documentación Requerida

UNE 14487-2	Armadura	Puede ser de malla, barras o fibras de refuerzo, para el suelo se pueden incorporar mallas electro - soldadas y perfiles de acero en el hormigón proyectado, además la armadura debe fijarse de forma que permanezca en su lugar, las barras deben ser diseñadas de tal forma de mejorar la compactación, cuando de incorporen dos o más mallas , debe la primera ser revestida de hormigón antes de poner la siguiente, la cual debe fijarse al menos 2 veces el tamaño máximo del árido proyectado.
-------------	----------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Tabla A.10 : UNE-EN 14487-2, 2008 / Armadura para el Hormigón Projectado

	Trabajos Preparatorios	Descripción
UNE 14487-2	Para el Refuerzo del Terreno	<ul style="list-style-type: none"> • Preparación del sustrato: deben eliminarse todas las rocas pobres o sueltas, si hay presencia de aguas subterráneas deben eliminarse con sistemas de drenaje, si hay alguna especificación de inserto de rocas se debe cumplir. • Retirar polvo y desechos: se eliminan mediante agua a presión. • Humectación previa: debe mojarse previamente la zona en donde será proyectado el hormigón. • Protección frente a temperaturas extremas: si durante la proyección o curado del hormigón hay temperaturas bajo 0° o T° muy altas se deben tomar precauciones.
	Para la Reparación, Mejora y Estructuras Auto Portantes	<ul style="list-style-type: none"> • Andamiaje, apuntalamiento y encofrado: debe ser lo suficientemente fuerte para aguantar todas las cargas sin deformaciones excesivas, trabajo seguro para el obrero, debe ponerse de forma de existir la separación entre la boquilla y el lugar de aplicación, permitir acceso fácil al lugar. • Preparación del sustrato: debe aplicarse sobre una superficie limpia, rugosa y libre de defectos. Si hay que reparar se debe hacer de forma correcta. • Humectación previa: Debe considerarse el mejoramiento del sustrato. • Protección frente a temperaturas extremas: el encofrado o las partes que estén en contacto con el hormigón proyectado deben tener una T° tal que no permitan el congelamiento del hormigón durante su proyección o curado, además de tomarse consideraciones especiales si durante la proyección o curado del hormigón hay temperaturas bajo 0° o T° muy altas se deben tomar precauciones.

Tabla A.11 : UNE-EN 14487-2, 2008 / Trabajos Preparatorios

	Equipo	Descripción
UNE 14487-2	Almacenamiento	Los materiales deben manipularse y almacenarse de forma que sus propiedades no cambien, los compartimentos deben estar claramente marcados, deben tenerse en cuenta las instrucciones especiales y deben estar acopiados de tal forma de poder sacar muestras in situ.
	Equipo para Preparación de Lotes	Cuando las mezclas sean preparadas in situ, el equipo debe ser tal que se alcancen las tolerancias máximas establecidas en la tabla 1 de la referencia [9].
	Mezcladores	Tanto para la mezcla húmeda como seca, el mezclador debe lograr una distribución uniforme de los materiales.
	Equipo de Proyección	Cuando se utiliza un aditivo acelerante del fraguado el dispositivo dosificador debe asegurar que el contenido del hormigón se mantenga en los intervalos de la tabla1 de la referencia [9] para los materiales añadidos en la boquilla, cuando se utilizan fibras de acero o polímeros, la fibra no debe supera el 70% del diámetro interno de la tuberías a menos que un ensayo demuestre que puede ser proyectado sin problemas.
	Equipo de Ensayo	Todas las instalaciones, equipos e instrucciones necesarias para su uso adecuado, deben estar disponibles cuando se requieran para las inspecciones y ensayos de los equipos, materiales y hormigón. Los equipos de ensayo deben estar calibrados cuando corresponda.

Tabla A.12 : UNE-EN 14487-2, 2008 / Equipos

	Preparación del Lote, Mezclado y Entrega del Hormigón	Descripción
	Preparación del Lote y Mezclado	<p>El cemento, áridos, fibras, aditivos y adiciones en polvo deben prepararse en masa, se puede hacer por volumen si se alcanza la exactitud requerida y se documenta.</p> <p>El mezclado se realiza hasta que este homogéneo, tener cuidado con las fibras, si cae mezcla durante su manipulación no debe volver a ocuparse</p>
UNE 14487-2	Entrega	<ul style="list-style-type: none"> •Proceso de mezcla en seco: Deben tomarse las medidas para que el hormigón fresco mantenga su trabajabilidad hasta el final de la proyección, las composiciones de mezcla seca con áridos secados en el horno pueden almacenarse durante un tiempo limitado pero deben aplicarse inmediatamente después del mezclado con el agua, el material secado en el horno debería ser humedecido antes de la boquilla o antes de su carga de proyección. <p>Durante la carga, el transporte y la descarga deben minimizar la segregación y cualquier otro tipo de cambio en la mezcla.</p> <ul style="list-style-type: none"> •Proceso de mezcla en húmeda: deben tomarse las medidas adecuadas para que el hormigón mantenga su trabajabilidad durante la operación, deben minimizarse los cambios que perjudiquen la mezcla base, durante la carga, el transporte y la descarga.

Tabla A.13 : UNE-EN 14487-2, 2008 / Preparación, Mezclado y Entrega del Hormigón

	Ejecución de la Proyección	Descripción
UNE 14487-2	Proyección	<ul style="list-style-type: none"> • Antes de la proyección siempre se controla la T° y el asentamiento del hormigón • Para ajustar la presión del aire, adición del acelerante y hormigón a través de la boquilla, esta tiene que estar siempre apartada de la superficie de aplicación. • El hormigón debe estar compuesto y mezclado de tal forma de minimizarse el rechazo, factores que influyen en el rechazo: composición del hormigón, ángulo, distancia entre la boquilla y lugar de aplicación, dosis del acelerador, etc. • La boquilla debe dirigirse normalmente hacia la superficie de aplicación, no debe producirse empuje ni deslizamiento del hormigón proyectado. • La distancia entre la boquilla y la superficie de aplicación se determina de acuerdo a las condiciones del lugar, generalmente en roca se recomienda una distancia de 1m- 2 m, el espesor especificado puede requerir de dos o más capas por nivel para disminuir el desprendimiento(principalmente en altura) • El espesor depende de varios parámetros y debe basarse en las condiciones del lugar y la composición de la mezcla y diseño. El espesor se puede incrementar mediante aditivos, adiciones, o la utilización de cemento de fraguado rápido. • No debe aplicarse una capa posterior antes de que la capa precedente pueda sostenerla. • Si pasa mucho tiempo entre la colocación de las capas, la superficie previamente proyectada debe limpiarse y humectarse. • Cuando hay contornos irregulares, se puede aplicar una capa de regularización. • Debe eliminarse el material proyectado de más y el rechazado en la áreas cercanas y la superficie de aplicación suelta antes de proyectar el hormigón <p>Deben ser tenidas en cuenta cuidadosamente las consecuencias de rechazo y los efectos de sombra, para disminuir esto último, se tiene que prestar particular atención a:</p>

Tabla A.14 : UNE-EN 14487-2, 2008 / Ejecución de la Proyección

UNE 14487-2	Proyección	<ul style="list-style-type: none"> •Asegurar que la velocidad del flujo de aire alrededor de la barra sea la adecuada, esto se logra con una buena distancia entra la boquilla y las barras o con una corriente de aire más fuerte para transportar el material. •Los sustratos previamente mojados deben estar libres de agua corriente
	Superficie del hormigón acabado	Como el acabado manual puede perjudicar la resistencia y adhesión, en general el hormigón proyectado se deja tal cual, si es necesario darle una textura se puede dar un tratamiento especial.
	Curado y protección	<p>El curado se realiza para minimizar la retracción plástica, asegurando la durabilidad y la resistencia adecuadas de la unión entre capas, cuando el hormigón sea expuesto a clases de exposición de X0 o XC1, el periodo de curado mínimo debe ser de 12 hrs., siempre que la T° de la superficie del hormigón sea igual o superior a 5°.</p> <p>A menos que se indique lo contrario debe aplicarse lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> •Cuando el hormigón sea de clase de exposición X0 o XC1 debe curarse hasta conseguir al menos el 50% de la resistencia de compresión especificada. •Las disposiciones nacionales válidas en el lugar de construcción pueden traducir el requisito anterior a un periodo de tiempo equivalente <p>El curado puede lograrse utilizando un compuesto de curado que se proyecte sobre la superficie del hormigón, o mediante la adición de un aditivo al hormigón durante el mezclado. Debe tomarse medidas de precaución frente a bajas T°</p>

Tabla A.15 : UNE-EN 14487-2, 2008 / Continuación de Ejecución de la Proyección

	Tolerancias Geométricas	Descripción
UNE 14487-2	Espesor	Se deben tomar medidas para controlar el espesor durante la proyección, como cables, insertos, espaciadores, planchas de contorno. Si el hormigón viene reforzado con fibras, el control del espesor debe realizarse antes de aplicar cualquier capa sin refuerzo posterior.

Tabla A.16 : UNE-EN 14487-2, 2008 / Tolerancias Geométricas

	Inspección	Descripción
UNE 14487-2	Generalidades	El objetivo es asegurar que las obras estén de acuerdo a las especificaciones del proyecto y a la norma, en caso de dudas se deben hacer inspecciones posteriores,
	Objeto y campo de aplicación para la inspección de la ejecución	El objeto y campo de aplicación de la inspección a realizar según lo especificado a menos que se establezca lo contrario en la especificación del proyecto
	Acciones de inspección relacionadas con el campo de aplicación de la inspección	En forma adicional se debe inspeccionar las acciones relacionadas con el campo de aplicación de la inspección.

Tabla A.17 : UNE-EN 14487-2, 2008 / Inspección

A.3 EFNARC, European Specification for Sprayed Concrete, 1996

	Requisitos para la composición del Hormigón Proyectado	Descripción
EFNARC-ESSC	General	La mezcla del hormigón incluyendo cemento, áridos, agua, aditivos, adiciones y fibras serán seleccionados para satisfacer los criterios de desempeño para el hormigón fresco y endurecido.
	Cemento	El contenido mínimo de cemento depende de la condición ambiental especificada más adelante, no menos de 400 kg.
	Adiciones	El contratista puede añadir material autorizado siempre que no se sobrepasen los límites indicados en la tabla 5.3.1 de la referencia [11].
	Áridos	Los áridos más finos son más adecuados para mezclas secas (aunque una gran cantidad de partículas <0,25 mm puede causar problemas de polvo), para mezclas secas el contenido de humedad natural en el agregado no debe superar el 6%
	Aditivos	Deben cumplir con los requisitos generales de la tabla1 del apéndice 1 de la referencia [11], en donde se debe tener en cuenta su efecto sobre el hormigón proyectado rociado y deben existir suficientes datos sobre su uso adecuado.
	Fibras	Diferentes tipos de fibras requieren de cantidades diferentes para lograr los mismos rendimientos, las fibras no deben exceder 0,7 del diámetro de el interior de los tubos o mangueras utilizadas, a menos que ensayos demuestren lo contrario y las fibras deben ser almacenadas de acuerdo a las especificaciones de los proveedores.
	Consistencia	La consistencia del hormigón para la proyección húmeda depende del transporte y procedimiento de aplicación, dada un relación A/C la consistencia puede ser ajustada por los aditivos añadidos en planta o in situ.
	Temperatura de trabajo	La T° de la mezcla antes de colocarla no debe ser inferior a 5°C y mayor a 35°C.

Tabla A.18 : EFNARC, ESSC, 1996 / Requisitos para la composición del Hormigón Proyectado

	Requisitos para la Durabilidad	Descripción
EFNARC- ESSC	General	Para producir un hormigón que proteja el acero a la corrosión y soporte las condiciones ambientales debe tener en consideración los siguiente: <ul style="list-style-type: none"> • Buena elección de los materiales constituyentes • Correcta elección de composición que satisfaga los requerimientos.
	Contenido de Cloruro	El contenido de cloruros en el hormigón proyectado en la obra no deberá sobrepasar los valores especificados .
	Contenido de álcali	Deberá cumplir con los requisitos de la actual norma nacional para evitar reacción álcali-sílice.
	Relacionados con condiciones ambientales	Debe cumplir con las clases de condiciones ambientales especificados , pero se debe Considerar las siguientes excepciones: <ul style="list-style-type: none"> • La relación máxima de W/C no debe sobrepasar 0,48 • El contenido mínimo de cemento debe ser 400 kg/m³ • Resistencia a heladas serán determinadas por pruebas de hielo/deshielo y no por Contenido mínimo de aire • Los requerimientos de cobertura mínima relacionados con las barras y mallas de refuerzos, pero no para las fibras de acero.

Tabla A.19 : EFNARC, ESSC, 1996 / Requisitos para la Durabilidad

	Composición de la mezcla	Descripción
EFNARC- ESSC	General	El enfoque desde el punto de vista de la mezcla diseñada es el método preferido por el hormigón proyectado, ya que produce un producto más consistente y más definido que el método de la mezcla prescrita.
	Mezcla Diseñada	La mezcla debe ser diseñada por el contratista para alcanzar las resistencia a la compresión y otras especificaciones requeridas. El hormigón proyectado pueden tener requerimiento adicionales como: contenido mínimo de cemento, razón máxima de W/C, dureza, permeabilidad, resistencia a la flexión, dureza, resistencia inicial, absorción de agua, unión de sustrato.
	Mezcla Prescrita	El contratista debe proporcionar o proponer al cliente una mezcla prescrita que la experiencia demuestre que se puede ocupar para el propósito previsto, se deben especificar los siguientes datos en ella: tipo y contenido de cemento, relación W/C y/o consistencia, agregados/cemento, tipo y cantidad de fibra, tipo y cantidad de aditivos, tipo y cantidad de adiciones, es difícil establecer la cantidad de agua en el proceso en seco pero en este proceso la relación W/C típicamente esta en el rango de 0,35 a 0,50.
	Diseño de Mezcla Combinado	Cuando ninguno de los casos antes mencionados son adecuadas, se puede solicitar al contratista hacer una mezcla híbrida con los dos casos anteriores

Tabla A.20 : EFNARC, ESSC, 1996 / Composición de la Mezcla

	Ejecución de la Proyección	Descripción
EFNARC- ESSC	Trabajos Previos	<p>Antes de proyectar el hormigón, se deben realizar algunas tareas como:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Soporte de Roca: la roca suelta o pobre tendrá que ser acuñada, hacer una evaluación para ver la calidad de la roca y determinar si necesita soporte, drenar las fugas de agua o detenerlas con una pasta o mortero que contenga acelerantes. • Para la reparación del hormigón: se evaluará el estado del hormigón, determinar las causas y eliminarlas siempre que se pueda, el sustrato en mal estado o suelto (ladrillos, hormigón, etc.) serán eliminados y el resto del material debe proporcionar un sustrato firme, si el sustrato de hormigón se encuentra carbonatado o penetrado por cloruros debe ser re-alcalinizado o eliminar los cloruros y si no es posible se debe retirar el hormigón en mal estado manteniendo la integridad estructural.
	Ejecución de la Proyección	<p>Para la proyección se debe considerar lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Limpiar y mojar previamente a menos que se especifique lo contrario ya sea con agua a presión o solo con agua. • Grandes cavidades deben ser encofradas antes de la proyección. • La proyección del hormigón por lo general debe comenzar por las cajas para evitar las pérdidas por rebote y caída de proyección en la corona. • Boquilla debe estar preferentemente con un ángulo de 90° con respecto a la superficie. • La velocidad y distancia se ajusta para obtener la mejor adherencia.
	Curado	<p>Se debe mantener una hidratación durante todo el tiempo de curado, si se aplica algún aditivo para el curado no se debe aplicar sobre el hormigón si posteriormente se aplicara una nueva capa de hormigón, si se ocupa algún aditivo para el curado se deben hacer ensayos antes de comenzar el trabajo.</p>
	Protección contra Heladas	<p>Se debe proteger contra las heladas hasta que el hormigón alcance una resistencia a la compresión de 5 Mpa.</p>

Tabla A.21 : EFNARC, ESSC, 1996 / Ejecución de la Proyección

	Requisitos para el Producto Final	Descripción
EFNARC-ESSC	Resistencia a la Compresión	La resistencia se especifica en la tabla 9.1.1 de la referencia [11] de acuerdo a la clase de Hormigón proyectado. Además hay pruebas in situ que se le hacen al hormigón, las cuales están dadas por la tabla 9.1.2 de la referencia [11], estos valores son el promedio de 3 muestras a 28 días y el valor de las muestras no debe ser inferior al 75% y el promedio no debe ser inferior al mínimo.
	Resistencia a la Flexión	La resistencia se especifica en la tabla 9.2.1 de la referencia [11] de acuerdo a la clase de hormigón o mortero, con o sin fibras. El valor es el promedio de 3 vigas y las muestras no debe ser inferior al 75% y el promedio no debe ser inferior al mínimo.
	Resistencia	<ul style="list-style-type: none"> •Resistencia Residual: Se especifican a partir de los ensayos de una prueba de viga o absorción de energía, existen 5 tipos de acuerdo a la figura 9.3.1 y tabla 9.3.1 de la referencia [11], el objetivo es ofrecer a los diseñadores la opción de elegir el hormigón proyectados en condiciones de servicio. •Energía de absorción: Si se especifica una prueba de energía y se puede realizar, se deben cumplir los requisitos de la tabla 9.3.2 de la referencia [11].
	Módulo de Elasticidad	Si influye en la capacidad o comportamiento, el modulo in situ deberá ser verificado, pueden existir expansiones o contracciones térmicas y estas deben ser especificadas por el diseñador.
	Adherencia	Si se requiere, se indican los valores en la tabla 9.5.1 de la referencia [11], de adherencia entre la roca-hormigón o hormigón-hormigón según sea el caso, estos son requisitos mínimos promedio de tres muestras a 28 días y las muestras no debe ser inferior al 75% y el del promedio no debe ser inferior al mínimo.
	Contenido de Fibra	El contenido de fibras debe satisfacer in situ las resistencias requeridas, el mínimo de fibras se determina con ensayos tomados de muestras in situ o en paneles, y las muestras no debe ser inferior al 75% y el promedio no debe ser inferior al mínimo.

Tabla A.22 : EFNARC, ESSC, 1996 / Requisitos para el Producto Final

EFNARC-ESSC	Permeabilidad	El hormigón proyectado se considera impermeable cuando el coeficiente de permeabilidad al agua es menor a 10-12 m/s. Cuando el hormigón este frente a una clase de exposición ambiental muy agresiva se debe impermeabilizar el concreto, en el caso de que requiera impermeabilidad frente a gases, será establecido por el cliente y por las pruebas de pre-construcción.
	Resistencia a las Heladas	Deberá resistir a la congelación y descongelación de la inmersión del agua.

Tabla A.23 : EFNARC, ESSC, 1996 / Continuación de Requisitos para el Producto Final

	Métodos de Ensayos	Descripción
EFNARC-ESSC	Paneles de pruebas y Muestras	SE debe ocupar molde de acero u otro material no absorbente, si es acero una plancha de al menos 4 mm de espesor y si es madera 18 mm de espesor, el plano de aplicación debe ser de 600 x 600 mm para hormigón proyectado a mano y 1000 x 1000 mm si es con robot, el mínimo espesor de hormigón debe ser de 100 mm, se debe tener especial cuidado con el rebote, además se aplicará de la misma forma y por el mismo operador que lo hará en terreno. Será protegido por la humedad en las mismas condiciones que se hará en terreno. El panel no podrá moverse hasta 18 horas después de ser proyectado el hormigón y será curado por 7 días después hasta la extracción de las muestras. Durante el traslado hacia el laboratorio deberá proteger la muestra contra daños mecánicos y pérdida de humedad, además las muestras no serán extraídas de los bordes del panel a menos que sean vigas para ver los ensayos de resistencia a la flexión.
	Resistencia a la Densidad y Compresión	Las pruebas de resistencia se harán con núcleos tomados del hormigón proyectado in situ o de los paneles de prueba, su diámetro mínimo será de 50 mm y razón altura/diámetro estará entre 1,0 y 2,0. Los resultados de ensayos que tengan una razón diferente a 2,0 deberán ser convertidos a la resistencia equivalente según corresponda el caso, con los factores de la tabla 10.2.1 de la referencia [11]. Como alternativa se puede obtener por medio de testigos cortados en paneles. La densidad también se obtendrá por el peso de agua de la muestra y por el contenido de aire, y los ensayos serán generalmente a los 7 y 28 días. El informe deberá contener identificación y humedad de la muestra,

Tabla A.24 : EFNARC, ESSC, 1996 / Métodos de Ensayos

EFNARC-ESSC	Resistencia a la Densidad y Compresión	dimensiones de la probeta, condiciones de curado y edad de la muestra, carga máxima y resistencia a la compresión, prueba de densidad, aspecto de la muestra (visual) y observaciones.
	Resistencia a la Flexión y a la Resistencia Residual	<ul style="list-style-type: none"> • Acuerdos para las pruebas: Las pruebas para se realizarán en vigas con dimensiones de 75 x 125 x 600 mm cortadas de los paneles de prueba y una vez cortadas deberán ser almacenadas en agua durante 3 días antes de las pruebas. La disposición de la prueba será como se muestra en la figura 10.3.2 de la referencia [11], la tasa de deformación del centro debe ser 0,25 +/- 0,05 mm/min, hasta una desviación de 0,5 mm, después de este punto puede llegar a 1 mm/min, la prueba se termina cuando la desviación llega a los 4 mm. • Determinación de la Resistencia a Flexión: Se calculará a partir de la curva carga-deformación y el informe deberá contener tipo de máquina de ensayo, muestras de identificación, dimensiones de probeta, condiciones de curado u edad de la muestra, velocidad de deformación, curva de carga-deformación y resistencia a flexión. • Determinación de la Clase de resistencia Residual: Se calculará a partir de la curva carga-deformación y el informe deberá contener los mismos puntos que el de Resistencia a Flexión, pero debe llevar además la clase residual y la deformación de ella.
	Clase de Energía de Absorción (Prueba de la Placa)	Una placa de 600 x 600 x 100 mm se apoya en sus 4 bordes y se le aplica una carga puntual en el centro, la tasa de deformación será de 1,5 mm por minuto, la placa de prueba será producida en un panel con hormigón proyectado, inmediatamente después de rociado el hormigón. Cuando la placa sea preparada en laboratorio los bordes serán aserrados. La placa será almacenada en agua por mínimo de 3 días y permanecerá húmeda durante la prueba. La curva-deformación será registrada y la prueba se realizará hasta que alcance una deformación de 25 mm. De la curva de carga-deformación se creará una segunda curva dando la energía absorbida en función de la deformación. El informe deberá tener lo mismo que los otros ensayos, las curvas y cálculos respectivos.

Tabla A.25 : EFNARC, ESSC, 1996 / Continuación de Métodos de Ensayos

EFNARC-ESSC	Módulo de Elasticidad	El módulo de elasticidad se calculara y se entregará dentro de un informe. El informe Deberá contener además lo indicado anteriormente.
	Adherencia	La resistencia a la unión se realizará mediante una prueba parcial al núcleo o una prueba de tracción. La tasa de carga debe estar dentro del rango de 1,0-3,0 Mpa/min. El diámetro del núcleo debe estar entre los 50 a 60 mm. El informe debe contener lo anterior mencionado además de la tasa de carga, máx. carga y resistencia a la unión, descripción del plano de falla.
	Resistencia al ciclo Hielo Deshielo	Debe resistir a la congelación y descongelación
	Determinación del Contenido de Fibra en el Hormigón Proyectado	<p>Se puede determinar a partir del hormigón fresco o endurecido, en ambos casos se puede aplicar fibras de acero, pero en el caso de las sintéticas solo se aplica al fresco, las muestras endurecidas se pueden extraer del panel de prueba o in situ, mientras que las frías además se pueden extraer de la mezcla básica. Hay que señalar que la cantidad de fibras dependerá del lugar y condiciones de este, la masa final de la fibra se determinará por pesado de las fibras de la muestra.</p> <p>Los métodos son:</p> <ul style="list-style-type: none"> •Se extraen 3 muestras de diámetro 75-150 mm, se pesan, se trituran y con imanes se retira las fibras (muestra endurecida) •Otro método es extraer 3 muestras que pesen 1-2 Kg., luego se lavan cuidadosamente para separar las fibras, se secan, finalmente se pesan (muestra fresca). <p>Luego el contenido de fibras se calcula a partir de las masas de fibras de los 2 casos mencionados. El informe debe tener tipo de muestra, tamaños y volúmenes, fecha y hora, descripción de la fibra, la cantidad calculada.</p>

Tabla A.26 : EFNARC, ESSC, 1996 / Continuación de Métodos de Ensayos

	Control de Calidad	Descripción
EFNARC-ESSC	General	Este control de calidad es una combinación de acciones y decisiones en cumplimiento de las especificaciones y controles para que se cumplan los requisitos. Hay 3 clases de control, el mínimo, normal y el extendido control. Este control será elegido dependiendo del proyecto y lugar, pero para la clase de control extendido es necesario la presencia de un ingeniero dedicado al control de calidad.
	Pruebas de Pre construcción	Se determinará la composición del hormigón proyectado a partir de las pruebas de pre construcción en donde se solicitan algunas propiedades como: <ul style="list-style-type: none"> •Hormigón fresco: trabajabilidad, agua, bombeabilidad, rebote, capacidad de proyección dosis de acelerador. •Hormigón endurecido: resistencia a la Compresión a los 7 y 28 días, resistencia a la flexión, resistencia residual, contenido de fibra, unión. Siempre va a depender del tipo de proyecto, pero siempre deben hacerse en el control de la clase de control extendido.
	Control de Calidad	<ul style="list-style-type: none"> •Soporte bajo tierra: se especifican 2 tipos de control, control de producción y control de Conformidad. La conformidad incluye el control de resistencia a la compresión, flexión, valor residual, absorción de energía, unión, contenido de fibra, espesor. Las pruebas deben hacerse tomando muestras in situ o en paneles y la frecuencia de las pruebas dependerá de las especificaciones que se entreguen y estas dependen del tipo de proyecto. <ul style="list-style-type: none"> •Control de alineación: es necesario guiar la proyección del hormigón para asegurar el espesor requerido, esto se hace mediante cables , guías de tiras, etc., por lo general son cables de acero de 0,8 o 1 mm altamente resistentes o guías de madera en forma de listones, los cuales son un excelente método para reparar o realizar una nueva construcción. Los medidores de profundidad son de metales o plásticos unidos a la superficie perpendicularmente, o al material de apoyo. Existen también sondas de acero que solo deben ser utilizadas si las perforaciones pueden ser toleradas por el revestimiento. Otro método de guía es el encofrado, el cuales son poco ocupado. La textura final puede ser tal cual como la de la proyección de la boquilla o puede darse una forma o textura. Para alisarse se ocupara un flotador de madera o de acero, un cepillo o esponja.

Tabla A.27 : EFNARC, ESSC, 1996 / Control de Calidad

A.3* EFNARC - European Specification for Sprayed Concrete, Execution of Spraying (revised version of Section 8), 1999

EFNARC-ESSC-ES	Ejecución del Hormigón Proyectado		Descripción
	Trabajo Preparatorio	Superficie	No se proyectara hormigón en superficies con temperaturas bajo los 2 °C, cuando existan vientos fuertes o exista precipitaciones intensas sin tomar las precauciones pertinentes. La superficie puede ser cualquiera que resista el impacto del hormigón proyectado, debe ser aplicado correctamente y debe adherirse de buena forma a la superficie. La superficie deberá estar húmeda pero sin exceso de agua.
Para el Soporte de la Roca		Antes de la proyección del hormigón, la roca y/o el hormigón existente serán limpiados siempre que las condiciones lo permitan, con agua y aire para permitir la adherencia. El agua subterránea será controlada para prevenir un efecto negativo en la superficie de hormigón proyectado. Las medidas que se tomen deberán cumplirse por al menos 28 días.	
Para la Reparación del Hormigón		Todo el hormigón suelto o defectuoso deberá ser retirado. En el caso que el hormigón este sulfatado deberá quitarse una capa de al menos 20 mm detrás de las barras y 50 mm cuando no este carbonatado. Cuando el límite de cloruro este por encima de lo permitido se deberá remover 30 mm y 100 mm cuando el contenido de cloruro este por debajo de lo permitido. Si el hormigón fue expuesto al fuego o a temperaturas sobre 300°C, deberá removerse. Si la cantidad de hormigón suelto, o las barras se encuentran corroídas se deberá dar aviso al ingeniero. El método de retiro del hormigón no deberá dañar a las barras existentes o al resto de hormigón, solo martillos se ocuparán para la demolición.	

Tabla A.28 : EFNARC, ESSC-ES, 1999 / Ejecución del Hormigón Proyectado

EFNARC-ES	Trabajo Preparatorio	Cantidades	Antes de proyectar el hormigón se revisará el estado de la roca, y el área de ella para establecer el volumen requerido de hormigón.
		Aprobaciones	El hormigón no será proyectado sobre ninguna superficie sin que el ingeniero lo apruebe
	Operaciones para el Rociado del Hormigón	Técnica de Proyección	<p>Cada capa de hormigón proyectado aumentará su espesor al pasar varias veces el inyector sobre el área de trabajo, el hormigón saldrá del inyector con flujo estable e interrumpido, perpendicularmente a la superficie y a una distancia entre los 1,5-2,0 mt. Se comienza por el fondo aplicando las capas más gruesas, para superficies curvas y elevadas el hormigón será aplicado desde los hombros hacia la corona. Se dará el tiempo suficiente entre una capa y otra, el material suelto y el que rebota será quitado. Hay exigencias al aplicar el hormigón como:</p> <ul style="list-style-type: none"> •La superficie debe estar libre de polvo, mortero, petróleos, agua. •Si es necesario se debe mojar la superficie, para una mejor adhesión •Antes de comenzar la operación, el equipo y el operador deben ser aprobados por el ingeniero. •Cuando se comience a rociar, la boquilla apuntará lejos del lugar de trabajo, hasta que la mezcla este bien ajustada. •Generalmente la boquilla apuntará a 0,5 - 1,0 m. de la superficie y en forma perpendicular. •En superficies verticales se comenzará desde abajo hacia arriba. •Las superficies continuas al lugar de rociado serán protegidas.
		Tratamiento de Defectos.	Si se presentan defectos, estos deberán ser recortados, reparados y rociados nuevamente, el área mínima será de 300 x 300 mm.

Tabla A.29 : EFNARC, ESSC-ES, 1999 / Continuación de Ejecución del Hormigón Proyectado

EFNARC-ES	Operaciones para el Rociado del Hormigón	Acabado	A menos que se especifique, no se debe aplanar ni emparejar el hormigón proyectado, si se especifica lo contrario el tratamiento de emparejamiento se hará con la técnica de flash-coat, ningún tratamiento puede ocurrir hasta que la capa anterior adquiera la fuerza adecuada. Una vez terminado el tratamiento se aplicará un agente para proteger el curado y no se descascare el hormigón.
		Disposiciones para el Rebote	Ningún material de rebote será ocupado como hormigón proyectado, todo el material de rebote será quitado del lugar de trabajo, las disposiciones con respecto al rebote del hormigón estarán acorde con el contrato y los requerimientos ambientales.
		Refuerzo del Empotramiento del Soporte de Roca	A menos que se especifique las vigas serán cubiertas con 30 mm de hormigón proyectado.
		Rociado para Trabajos de Reparación	<ul style="list-style-type: none"> • Antes de comenzar los trabajos de reparación, el área debe ser observada para verificar la integración de barras adecuadas y una calidad en la superficie. • En Seco: La salida será regulada para ajustar la salida proporcional con el agua y así obtener un empotramiento adecuado de las nuevas barras. • El rociado detrás de las nuevas barras se hará mas cerca de la superficie, de manera de encapsular el refuerzo. • El hormigón será aplicado al nivel de hormigón circundante o hasta que lo cubra, se puede usar en encofrado para restaurar la forma.
		Habilidades del Operador	El operador deberá tener experiencia, o deberá trabajar bajo la supervisión de un capataz o supervisor.

Tabla A.30 : EFNARC, ESSC-ES, 1999 / Continuación de Ejecución del Hormigón Proyectado

EFNARC-ES	Operaciones para Proyección del Hormigón		<ul style="list-style-type: none"> • Los ensayos en terreno serán generalmente requeridos. • Se dará el tiempo suficiente para que se desarrolle completamente los procesos de la mezcla, no se comenzará antes de que los resultados de laboratorio estén listos y el ingeniero de el visto bueno. • Los equipos y materiales constituyentes usados para los ensayos deben ser representativos para ser usados en terreno. • Para cada tipo de hormigón proyectado, la mezcla puede ser diseñada por el contratista y preparada con los materiales que se entregan en una lista. Un operados con experiencia preparará los paneles para las pruebas, 1000 x 1000 mm para rociado con robot y 600 x 600 mm si el rociado es a mano, los paneles rociados no serán movidos por 18 horas y estarán a $26 \pm 5^{\circ}\text{C}$, y serán cubiertos por hojas de polietileno hasta que sean cortados.
	Equipo	General	Todo equipo para el agrupamiento y mezcla de materiales y para la aplicación de todos los tipos de hormigón proyectado, será aprobado por el ingeniero . La máquina que rocía y el equipo auxiliar deben ser de una capacidad adecuada y serán herméticos respecto a los otros materiales. El material será expulsado con una velocidad que permita la máxima adherencia y el menor rebote. Los equipos deben ser limpiados una vez por turno. Las mangueras y tuberías deberán tener diámetro acorde a el material a proyectar y estas no deben presentar daños ni ser dobladas. Las áreas de trabajo deben ser iluminadas.
		Mezcla Húmeda	El inyector debe estar diseñado para la adición de adiciones líquidas, aire presurizado para obtener velocidad y compactación, las adiciones líquidas se deben mezclar dentro del inyector antes de mezclarse con el hormigón, el aire debe ser limpio el inyector debe ser suficientemente largo para ocupar la energía de aire comprimido.

Tabla A.31 : EFNARC, ESSC-ES, 1999 / Continuación de Ejecución del Hormigón Proyectado

EFNARC-ES	Equipo	Mezcla Seca	El inyector deberá ser capaz de controlar el agua añadida afuera para asegurar una mezcla eficaz de todos los ingredientes del hormigón proyectado. Además el inyector permitirá la mezcla y adición de aditivos, será equipada con una válvula que regule el agua y una válvula de cierre. El aire debe ser limpio.
		Dosificación del Hormigón Proyectado con los Aditivos Acelerantes	La adición de los aditivos será mediante una bomba, la incorporación de los aditivos a mano no está permitido. Cada máquina provista para la mezcla húmeda deberá contar con una unidad de dosificación integrada para dispensar los aditivos. Cuando se esté utilizando una mezcla seca se debe tener una bomba que adicione al agua los aditivos y debe ser calibrado con las instrucciones del fabricante.
	Aplicación de Mezcla Húmeda como Soporte de la Roca	Antes de proyectar, la roca será inspeccionada y trazada con un mapa determinando que tipo de apoyo necesita la roca. La superficie será limpiada con aire comprimida y aire, se partirá limpiando la zona más alta del lugar de trabajo hacia abajo, deberá ser supervisada este trabajo para confirmar que es seguro el lugar.	
	Curado	Todo hormigón será correctamente curado usando métodos y materiales previamente aprobados por el ingeniero, para evitar contracción temprana, asegurar eficaz entre capas de hormigón previniendo la deshidratación, etc. El curado empezará 20 min. después de proyectar el hormigón si este lleva aditivos para acelerar el curado, si no 1 hora, la curación será en forma continua y por un tiempo mínimo de 7 días.	
	Protección Contra Heladas	El hormigón será protegido contra las heladas hasta que haya alcanzado un fuerza de compresión de 5 MPa.	

Tabla A.32 : EFNARC, ESSC-ES, 1999 / Continuación de Ejecución del Hormigón Proyectado

A.4 EFNARC, European Specification for Sprayed Concrete, Guidelines for Specifiers and Contractors, 1999

	Materiales Constituyentes	Descripción
EFNARC-ESSC-GSC	General	Los materiales seleccionados deberán satisfacer los requerimientos técnicos y de seguridad, cualquier exigencia como grosor, forma, resistencia, etc., deberán ser claramente descritas.
	Cemento	Los cementos se clasifican según composición y rendimiento, puede influir la información económica, pero al final la especificación técnica es la que hace decidir por uno o por el otro. El más usado para el hormigón proyectado es el cemento Portland tradicional. Para ciertas condiciones agresivas como sulfato, aguas subterráneas, o donde exista Riesgo de una reacción de álcali-sílice, se puede especificar un cemento especial.
	Agregados	Los agregados comprenden la mayor cantidad de volumen y masa en el concreto, además la resistencia específica del hormigón debería tener en cuenta aspectos como el rebote, la buena unión entre capas. Se debe investigar las propiedades como contenido orgánico, humedad, forma, etc. Si se ocupa hormigón proyectado por vía húmeda, la capacidad de bombeo es importante para la elección de agregados.
	Agua de Mezclado	El agua potable es conveniente para la mezcla adecuada, si se tienen otras fuentes no potables, la tabla 1 de la referencia [13] puede usarse para determinar la conveniencia. La temperatura del agua influye en la temperatura final de la mezcla.
	Refuerzo de Acero	El refuerzo de acero es usado para aumentar la resistencia a la flexión y reducir grietas. Está normalmente en forma de barras y se usa para capas gruesas, mayores a 50 mm, generalmente se complementa con mallas de 100 a 150 mm y un diámetro de alambre de no más de 10 mm.

Tabla A.33 : EFNARC, ESSC-GSC, 1999 / Materiales Constituyentes

EFNARC-ESSC-GSC	Fibras	<p>Las fibras son usadas generalmente para aumentar la dureza del hormigón, reducir o controlar el agrietamiento.</p> <ul style="list-style-type: none"> •Fibras de Acero: Estas fibras se clasifican en 5 grupos de acuerdo a la materia prima que se utiliza para la fabricación de ellas, Grupo I alambre de acero estirado en frío, Grupo II : fibras de hoja de corte, Grupo III molidos a partir de bloques de acero, Grupo IV fibras extraídas al fundir acero y Grupo V otras fibras de acero. •Fibras Sintéticas: Son principalmente producidas de polímeros orgánicos, con varios cortes transversales y suficientemente pequeñas para mezclarse y ser proyectada dicha mezcla con el equipo convencional.
	Aditivos	<ul style="list-style-type: none"> •Plastificantes: Son usados para obtener un hormigón bombeable y con un contenido mínimo de agua, ya que la mayor cantidad de agua disminuye la cohesión y fuerza final, y tiene efectos negativos en la calidad del hormigón y en el rebote. Por estas desventajas es utilizado en muchos casos. •Superplastificantes: Son usados para reducir al mínimo la cantidad de agua en la mezcla, y pueden ser utilizadas en dosis mayores a los plastificantes. Su finalidad es dar la coherencia requerida para la proyección y bombeo. • Inhibidores: los cuales Inhiben la mezcla para que no frague lo cual se utiliza cuando el transporte es muy lejos. Al activador para que le mezcla vuelva a su estado normal es el mismo Acelerante. Es decir la mezcla se activa en la boquilla cuando se le aplica el acelerante. •Aditivos de Control de Hidratación: Son añadidos al en el rebote. Por estas desventajas es utilizado en muchos casos. con el fin de mantener la factibilidad y ampliar el tiempo de transporte y aplicación sin reducir la calidad del hormigón, en general estos aditivos no dañan la calidad inicial y coherencia del hormigón.

Tabla A.34 : EFNARC, ESSC-GSC, 1999 / Continuación de Materiales Constituyentes

A.5 ACI 506R-05, Guide to Shotcrete

	Aspectos Generales	Descripción
ACI-GS	Proceso de Proyección del Hormigón	<p>El proceso es clasificado si corresponde a un proceso húmedo o seco y el tamaño de agregado utilizado.</p> <p>Tanto uno como el otro proceso entregan un hormigón para proyectar que cumple con las exigencias de construcción normales. Los costos asociados, rasgos operacionales, disponibilidad, etc., pueden decidir si ocupar uno o el otro.</p> <p>En cuanto a los agregado gruesos, existen razones para agregarlos al hormigón, como por ejemplo que el agregado grueso reduce la contracción por secado reduciendo el contenido de agregado fino, puede mejorar la capacidad de bombeo, la economía de la mezcla puede mejorar.</p> <p>Sin embargo la cantidad de agregado grueso no puede superar el 30 % ya que tiene mayor rebote, Es más difícil realizar las terminaciones y no puede ser usado para capas delgadas.</p>
	Propiedades	<p>La composición de la mezcla debe ser tal que cuando se endurezca el hormigón proyectado debe alcanzar todas sus propiedades mecánicas y físicas aceptables. Los efectos de disparo, mezcla, orientación pueden afectar las propiedades del hormigón endurecido.</p> <p>La presencia de acelerantes, humo de sílice u otra puzolana modifica las propiedades físicas sobre todo permeabilidad y durabilidad. Un incorporador de aire mejora la resistencia a el hielo / deshielo, mientras que el uso de fibras mejora la resistencia.</p> <p>La fuerza compresiva en el proceso en seco puede alcanzar los 85 Mpa, pero lo común es de unos 40-50 Mpa para la mezcla húmeda varía entre 30-50 Mpa. La fuerza de enlace del hormigón con la superficie, como mínimo debe ser de 0,7 Mpa, pero generalmente es de 1 MPA.</p> <p>La resistencia a hielo/deshielo es directamente proporcional a la proporción de agua/cemento del material y del contenido de aire. La mezcla húmeda debe tener como mínimo un contenido de aire del 4% con un espaciado de vacío de aire máximo de 0,3 mm, pero se recomienda que sea un 6% el contenido de aire debido a que al momento de los disparos se pierde.</p>
	Hormigón Proyectado	<p>Es la aplicación más comúnmente usada e incluye piscinas, estanques, paredes, capas delgadas, cubiertas de ladrillo, roca, albañería, tierra, protección de tubos y acero, y la reparación de presas, etc.</p>

Tabla A.35 : ACI 506R-05 / Aspectos Generales

	Materiales	Descripción
ACI-GS	Cemento	El cemento portland es el más utilizado, además se ocupan cementos de aluminato de calcio o cemento de alta alúmina, es un cemento rápido de hidratación que se utiliza principalmente para aplicaciones de refractarios y proporciona resistencia a ciertos ácidos. Si se adicionan materiales puzolanicos, estos pueden proporcionar mayor resistencia a ataques de sulfatos.
ACI-GS	Agua	El agua de la mezcla debe ser limpia y libre de sustancias, si el agua potable no esta disponible, el agua que se tenga debe ser probada en cubos para verificar que la resistencia a la compresión sea de al menos un 90% de la del mortero con agua destilada. Los valores máximos de ion de cloruro presentes en el agua por porcentaje de peso son 0.06 para hormigón reforzado, 0.15 para hormigón expuesto a cloruro, 1.0 para hormigón seco o protegido a la humedad, otros 0.3. el agua de curado también debe estar libre de sustancias y no debe ser menor a los 10°C.
ACI-GS	Aditivos	Los acelerantes químicos aumenta la rigidez temprana, los espesores disminuyen y por ello es ideal para trabajos en altura, hay acelerantes de hidratación que aumentan la fuerza temprana, además los acelerantes son sumamente importantes para proyectos como túneles donde hay filtraciones de agua y la aplicación de varias capas debe ser aplicada en forma rápida.
ACI-GS	Refuerzos	Las barras usadas como refuerzos deben ser instaladas de tal manera de no intervenir en la que el hormigón proyectado escurra por entre ellas, si no es el caso el operador debe ser hábil para poder aplicarlo de manera eficiente, también puede existir refuerzo de alambre soldado o mallas. Otro refuerzo es la fibra de acero, esta varía entre los 20 y 70 kg/m ³ , su tamaño varía entre los 30 y 40 mm. También existen fibras sintéticas, las mas usadas son de polipropileno, son de 25 a 50 mm

Tabla A.36 : ACI 506R-05 / Materiales

Equipos para la Proyección		Descripción
Exigencias de Aire	Proceso en Seco	El compresor debería mantener un suministro del aire limpio, seco, sin petróleo adecuado para mantener velocidades de inyector requeridas simultáneamente haciendo funcionar todo el equipo de aire comprimido y un tubo de golpe para quitar el rebote. La operación de compresores en elevaciones más altas requiere volúmenes aumentados del aire. Se recomienda seguir las especificaciones del fabricante. Las presiones de operaciones no deberían ser menos 0.4 Mpa cuando se ocupen mangueras de 30 m o menos y la presión debería ser aumentada en 0.03 MPa para cada 15 m adicionales de la manguera.
	Proceso en Húmedo	El aire es necesario para aumentar la velocidad del material cuando esto sale el inyector. Un compresor, más pequeño que en el caso del proceso seco es apropiado para el proceso húmedo
Mangueras		El tamaño de manguera y las presiones de operaciones deberían ser analizados y evaluados seleccionando la manguera apropiada. Los enganches de manguera no deberían obstruir el flujo y deberían tener restricciones de seguridad apropiadas para la protección de pinchazo y ser la interpretación rápida.
Inyectores		Los inyectores de descarga que consisten en un cuerpo de inyector y punta de inyector son atados al final de la manguera de entrega material para inyectar el agua o aire en la corriente móvil de materiales. El inyector también permite la adición de agua prevariada y sólidos y proporciona la distribución uniforme de la mezcla.
Equipos Auxiliares		Bombas de elevador de voltaje de agua, andamio, motores de aire, dispositivos de comunicación, calentadores espaciales, plantas ligeras, sopletes, secadores de agregados, alimentadores de fibra dosificadores de adición.
Disposición de Plantas y Operación		La disposición es esencial para la operación eficiente económica y acertada del hormigón proyectado. El equipo debería ser colocado como del trabajo para minimizar la longitud de la manguera requerida. la planta debería estar centralmente localizada para reducir el número de movimientos de equipo.

Tabla A.37 : ACI 506R-05 / Equipos

	Organización del Equipo de Trabajo	Descripción
ACI-GS	Composición y Deberes	<p>El equipo básico para la proyección del hormigón debe estar compuesto por un capataz, un operador de inyección, una persona que realice los trabajos de terminaciones, un ayudante del operador de inyección, un operador de la mezcla y trabajadores adicionales si fuesen necesarios. Algunas tareas las puede realizar la misma persona, por ejemplo el capataz puede ser también el operador, o en algunos casos es necesario más de un operador. El capataz es el que organiza la cuadrilla, supervisa el procedimiento, mantención de los equipos.</p> <p>El operador es quien debe preocuparse de que la superficie este en buen estado para la proyección del hormigón, además es quien regula la presión y la cantidad de agua en el proceso seco.</p> <p>Para proyectos grandes es recomendable tener a un ingeniero o superintendente a cargo, el que es encargado de la logística, selección de la mezcla, materiales, calificación del equipo, etc.</p>
	Calificación del Trabajo	La calidad de una aplicación hormigón proyectado resulta de las habilidades combinadas y el conocimiento del equipo que realiza la actividad. El capataz y el equipo deberían haber realizado el trabajo satisfactorio en capacidades similares durante un período especificado.
	Comunicaciones Durante la Proyección	La comunicación desempeña un papel vital durante la aplicación del hormigón proyectado. A causa de muchos factores, como la distancia entre el operador de inyector y arma u operador de bomba, objetos que obstruyen su vista el uno del otro, y niveles del ruido que previenen la comunicación oral, el equipo debería seleccionar un sistema de comunicación apropiado. Se utilizan generalmente señales con la mano, silbidos, teléfonos activados por la voz.

Tabla A.38 : ACI 506R-05 / Organización del Equipo de Trabajo

	Procedimientos Principales	Descripción
ACI-GS	Preparación de Superficies	<ul style="list-style-type: none"> •Superficie de tierra: La preparación y compactación de la superficie son esenciales. El hormigón proyectado no debería ser colocado si el suelo es esponjoso o se encuentra congelada. Deberá mojarse la superficie antes de proyectar el hormigón, para prevenir que el derrumbe del hormigón en lugares donde existe filtraciones, se debe canalizar dichas filtraciones antes de proyectar el hormigón. •Superficie de acero: Todo material suelto, pintura u otro contaminante debe ser retirado de la superficie, si se ocupa agua a alta presión para el retiro de contaminantes, el agua que quede debe ser retirada antes de la proyección. •Superficies de hormigón: retirar todo el material suelto, las imperfecciones o parte de hormigón contaminado, los cambios bruscos de grosor en la reparación deben ser evitados. Los bordes que son desconchados, deben afilarse en 45° hacia el interior de la reparación. Si la superficie es lisa se debe poner porosa. •Superficies de albañilería: El cuidado es similar al de las superficies de hormigón, la diferencia es que debe ser mojada la superficie de albañilería ya que esta puede absorber el agua del hormigón proyectado y producir quiebres a futuro. •Superficie de roca: Se deben quitar todas el material suelto existente, hay que tener especial cuidado con el retiro, porque si es excesivo se debe aplicar el hormigón como refuerzo a la brevedad, sobre todo en espacios subterráneos. •Madera: En el caso que se le quiera dar forma al hormigón se debe aplicar algún químico que no absorba el agua del hormigón proyectado y a la vez pueda ser retirada la madera de manera fácil.
	Reforzamiento	<p>Las barras para reforzar son raramente utilizadas y con un grosor menor a los 40 mm., la malla puede ser usada bajo 25 mm., cuando son secciones muy delgadas se ocupan fibras de acero.</p> <ul style="list-style-type: none"> •Las barras pueden obstruir la aplicación del hormigón proyectado, es ahí donde la habilidad del operador es fundamental, las barras deberán tener un espacio entre ellas de al menos 3 veces el diámetro mayor de las barras empalmadas, las uniones de barras deberán realizarse con alambre y deberán evitarse los nudos muy grandes.

Tabla A.39 : ACI 506R-05 / Procedimientos Principales

	Dosificación y Pruebas de Pre-Construcción	Descripción
ACI-GS	Dosificación de la Mezcla	En la mezcla húmeda no es recomendable agregar más de un 30% de áridos gruesos, en general tendrá de 390 a 450 kg/m ³ de cemento, 20 a 30% de gravilla (13 mm como máx.), del 70 al 80% de arena, el contenido de aire total mínimo antes de ser bombeado deberá ser de un 6%, ya que al momento del bombeo perderá aire.
	Pruebas de Pre-Construcción	Los paneles independientes de la prueba debe ser fabricados para la evaluación de la proporción y la mezcla para la calificación de la boquilla del operador, deben ser de 610x610x89 mm y no reforzados. El panel de prueba de calificación del operador debería ser lo bastante grande para simular las condiciones reales del proyecto con un tamaño mínimo de 760 x 760 x 75 mm y debe ser reforzada para simular el tamaño y la complejidad de la armadura que rodará en el proyecto.

Tabla A.40: ACI 506R-05 / Dosificación y Pruebas de Pre-Construcción

	Colocación del Hormigón proyectado	Descripción
ACI-GS	Procedimientos Preliminares	<ul style="list-style-type: none"> •En la mezcla seca, el cemento debería ser fresco, no apelmazado, y en bolsas no rotas. El conjunto debería ser limpio, no contaminado. La pre humectación del conjunto puede ser requerida, aunque demasiada humedad ya que pueda causar el tapamiento de la manguera durante la proyección. Si el hormigón es transportado desde una plante debe ser ocupado dentro de los siguientes 45 min si la temperatura es muy alta, el tiempo máx. Son 15 min. •Los equipos, operadores y todo lo que lleva el procedimiento de aplicación deberán estar en óptimas condiciones para asegurar una correcta aplicación. •La superficie debe estar limpia sin presencia de agentes contaminantes.
	Aplicación	<p>La calidad de la aplicación del hormigón depende en gran medida del operador de arma , operador de bomba, y operador de inyector; control de agua que se mezcla; velocidad de inyector; y técnica de inyector. En cada caso, la maestría y experiencia del miembro de equipo responsable determina la suficiencia y la calidad de la operación.</p> <p>La velocidad del material en el impacto es un factor importante en la determinación de las propiedades últimas del hormigón proyectado.</p> <p>Por regla general, el inyector debería ser sostenido perpendicular a la superficie de recepción, pero nunca orientado en más de 45 grados a la superficie.</p> <p>Los trabajos se deben para si las condiciones climáticas no son favorables, como fuertes vientos, bajas temperaturas (congelamiento), derrumbes, lluvia, etc.</p> <p>Cuando se aplica el hormigón proyectado en climas secos, la aplicación entre una y otra proyección no deberá superar los 15 min. Y se debe tener especial cuidado con el curado, debe comenzar en forma puntual después del acabamiento, se debe mantener la temperatura del hormigón entre los 10°C y 38°C.</p> <p>Para climas fríos no se debe aplicar hormigón si la temperatura es inferior a los 5°C, una vez que se realizo el acabado, se debe curar y proteger de los congelamientos,</p>

Tabla A.41 : ACI 506R-05 / Colocación del Hormigón proyectado

A.6 ACI 506.2-95, Specification for Shotcrete

Lista de Requisitos para el Hormigón Proyectado		Descripción
Obligatorias para Arquitectos/Ingenieros	Preparación de la Superficie	Se requiere preparar la superficie para asegurar un enlace entre el hormigón y la superficie, si la superficie es rugosa mejora la unión. Puede ser necesario quitar el hormigón existente para permitir una buena adherencia. Proyectar el hormigón con precaución, el remover de forma brusca los distintos componentes del hormigón pueden alterar sus propiedades, especificar si se requiere un tratamiento especial entre las diferentes capas de hormigón proyectado
	Tolerancia	Especificar la tolerancia basada en la función y apariencia, el hormigón proyectado no se realiza normalmente a la misma tolerancia que el hormigón moldeado en el lugar.
Opcionales para Arquitectos/Ingenieros	Aseguramiento de la Calidad	Especificar si se requiere prueba previa a la construcción, especificar si los aditivos son compatibles con la mezcla, si es necesario tipos y numero de pruebas adicionales, si el contratista puede demostrar que ha realizado trabajos en anteriores con los mismo materiales, trabajadores y equipos el ingeniero puede evaluar si hacer o no las pruebas de pre-construcción. La calidad de hormigón depende principalmente del contratista y de la capacidad de aplicación del operador.
	Evaluación in-situ	En el lugar bajo criterios, se aceptara/rechazara.
	Cemento	Especificar si otro tipo de cemento es permitido,
	Agregados	Especificar si es otra clasificación y si se requieren pruebas especiales, otras clasificación puede ser propuesta por el contratista si demuestra con experiencias anteriores los buenos resultados.
	Reforzamiento	Especificar tipo, cantidad, tamaño, contenido mínimo, y si se requiere ensayos y su frecuencia.
	Aditivos	Medir contenido de aire en la tolva, si el proceso es vía húmeda y esta expuesto a congelación/descongelación debe tener la entrada de aire antes de disparar con una contenido de 6-7 % de aire antes de disparar. Especificar limites y dosificaciones de otros aditivos, cloruro de calcio no es recomendable en estructuras de hormigón.
	Encajamiento del Refuerzo	El encajonamiento de grandes barras debe ser cuidadoso junto con la velocidad del impacto, debe realizarse una inspección detallada.

Tabla A.42 : ACI 506-2-95 / Lista de Requisitos para el Hormigón Proyectado

ACI -SFS	Lista de Requisitos para el Hormigón Proyectado		Descripción
	Obligatorias para Arquitectos/Ingenieros	Acabado	Especificar el tipo de acabado, perturbaciones en la superficie del hormigón proyectado pueden reducir la durabilidad de la superficie, si el hormigón aún esta fresco se pueden añadir materiales para arreglar las imperfecciones.
Curado		Se debe tener cuidado al ocupar compuestos de curado, ya que estos compuestos pueden afectar la adherencia con las próximas capas, para disminuir los problemas entre las capas el material de curado se debe remover con un chorro de aire o arena.	

Tabla A.43 : ACI 506-2-95 / Continuación de Lista de Requisitos para el Hormigón Proyectado

ACI -SFS	Aseguramiento de Calidad	Descripción
	Pre construcción de testigos	<ul style="list-style-type: none"> • Los testigos de paneles de pre construcción se deben preparar para ser examinados por el arquitecto/ingeniero antes de la colocación del hormigón proyectado. • En la producción de los paneles la mezcla deberá cumplir con la dosificación, en la mitad del panel de prueba se deberá incorporar los mismos refuerzos y con la misma separación que en el trabajo requerido, luego obtener 6 testigos, 3 con refuerzos y 3 sin refuerzos. • Visualmente se determina el grado del núcleo del testigo (se especifican a en la tabla51)
Construcción de Testigos	<ul style="list-style-type: none"> • Se debe producir un panel para cada mezcla y cada día de trabajo o para 50 m3 colocados, el panel de ensayo se debe mantener húmedo hasta que se traslade a las pruebas de laboratorio, alrededor de los 24 °C. • La resistencia media a la compresión de una serie de 3 núcleos deberá ser igual o superior a 0,85fc', y ninguno de los núcleos deberá ser menor a 0,75fc'. La media de 3 cubos debe ser igual o superior a fc' y cada cubo no debe ser menor que 0,88fc'. 	

Tabla A.44 : ACI 506-2-95 / Aseguramiento de Calidad

	Grados de los Núcleos de Testigos	Descripción
ACI -SFS	Grado 1	Las muestras son sólidas, no hay láminas, zonas arenosas o huecos, puede presentar pequeños huecos de aire no mayores a 1/8 pulgada y de longitud máxima a 1/4 pulgada, detrás de los refuerzos de acero no pueden haber bolsas de arena o huecos.
	Grado 2	Las muestras no tendrán mas de 2 láminas o zonas de arena con dimensiones que excedan 1/8 pulgadas de espesor y 1 pulgada de largo. La altura, anchura y profundidad de los huecos no debe superar las 3/8 pulgadas, áreas porosas detrás del acero no deben superar la 1/2 pulgada
	Grado 3	Las muestras no tendrán más de 2 láminas o zonas de arena con dimensiones que excedan 3/16 pulgadas de espesor y 1-1/4 pulgada de largo. Las bolsas de arena o vacíos, no deben exceder las 5/8 pulgadas de espesor y 1-1/4 pulgadas de ancho
	Grado 4	Es similar al de grado 3 pero puede tener una falla con una dimensión máxima de 1 pulgada perpendicular a la cara del núcleo, con un ancho máximo de 1-1/2 pulgadas. Contiene vacíos que debido al excesivo rocío de hormigón que pueden alcanzar una profundidad de 1/8 pulgadas.
	Grado 5	Si no cumple las condiciones del núcleo 4 y es de peor calidad se clasificará como de grado 5.
	Determinación del Grado	<ul style="list-style-type: none"> • Para determinar el grado deberá ser por lo menos de 3 muestras. • La clasificación media de 2,5 o menos es aceptable, a menos que se especifique lo contrario, individualmente no pueden ser mayores que 3.

Tabla A.45 : ACI 506-2-95 / Grados de los Núcleos de Testigos

	Hormigón en el Lugar	Descripción
ACI -SFS	Evaluación del Hormigón In-Situ	Retirar y sustituir el hormigón que este en mal estado, si presenta espacios vacíos, bolsas de arena superiores a la clasificación de la tabla 51.
	Aceptación	<ul style="list-style-type: none"> • El hormigón proyectado que cumple con los requisitos será aceptado • El hormigón que no cumpla con uno o más requisitos pero que sea reparado será aceptado. • El hormigón que no cumpla con uno o más requisitos y que no pueda ser reparado será aceptado podrá ser aceptado o rechazado, las modificaciones pueden ser importantes para que el trabajo sea aceptado.

Tabla A.46 : ACI 506-2-95 / Hormigón en el Lugar



Figura A.1: ACI 506-2-95 / Grado 1

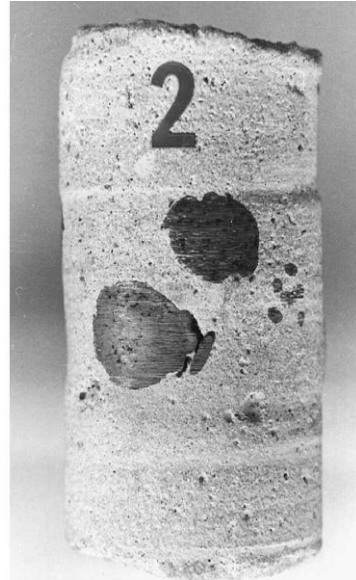


Figura A.2: ACI 506-2-95 / Grado 2



Figura A.3: ACI 506-2-95 / Grado 3



Figura A.4: ACI 506-2-95 / Grado 4

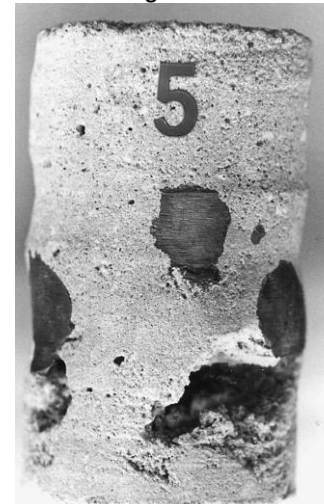


Figura A.5: ACI 506-2-95 / Grado 5

	Materiales	Descripción
ACI -SFS	Cemento	Cemento portland tipo I.
	Agregados	De peso normal, que cumplan con las especificaciones.
	Refuerzo	<ul style="list-style-type: none"> • Refuerzo de acero deformable. • De alambre soldado. • Fibras de acero, vidrio o sintéticas.
	Agua	Limpia y potable. Libre de manchas cuando se quiera ocupar para terminaciones arquitectónicas.
	Aditivos	<ul style="list-style-type: none"> • Reductores de agua. • Retardante. • Acelerante • Incorporador de aire. • Cenizas volantes y puzolanas naturales. • Escoria de alto horno. • Humo de sílice.
	Entrega, Recepción y manipulación	Entregar, almacenar y manejar los materiales de manera correcta para evitar la contaminación, la segregación, la corrosión o daños. Almacenar los aditivos líquidos con el fin de evitar la evaporación y la congelación.

Tabla A.47 : ACI 506-2-95 / Materiales

	Ejecución	Descripción
ACI -SFS	Examinación	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar que la superficie es aceptable y esta lista para recibir el trabajo. • Verificar que la colocación y espacios alrededor del refuerzo sean los correctos al momento de la proyección. • Si existen especificaciones especiales respetarlas como dice el contrato.
	Dosificación y Mezclado	<ul style="list-style-type: none"> • El volumen de hormigón se comprobara una vez por semana controlando el peso de los lotes. • Se utilizaran equipos capacitados para la mezcla y dosificación.
	Preparación de la Superficie	<ul style="list-style-type: none"> • Tierra: Preparar la superficie a la línea y grado, no aplicar hormigón proyectado a superficie congelada, humedecer la superficie antes de proyectar el hormigón. • Hormigón, albañería y hormigón proyectado: Retirar todos los sólidos sueltos, material deteriorado, o contaminantes que puedan inhibir la unión. • Estructurales/Refuerzo: La superficie debe estar libre de materiales nocivos que inhiben la unión, los nuevos refuerzos deben estar separados por un espacio de al menos 3 veces el agregado más grande. • Roca: Eliminar todo el material suelto, barro, humedecer antes de tirar el hormigón.
	Control de Alineación	Instalar cables tensos en la tierra o en otra superficie para determinar espesor y el plano de la superficie requerida.
	Aplicación	<ul style="list-style-type: none"> • Técnicas de colocación: Instalar una superficie que permita al operador acceder sin obstáculos, en lugares donde es lanzado por primera vez el hormigón como en esquinas, rincones, se debe tener cuidado de que no exista mucho rebote o se escape fácilmente. Eliminar el rebote antes de aplicar más hormigón. La boquilla debe estar en forma perpendicular a la superficie, en los rincones la boquilla debe estar apuntando en forma directa con un ángulo de 45°. Si existe viento que separe los distintos materiales dejar de disparar. No volver a ocupar el material que reboto, limpiar de la lechada la superficie de hormigón si se va a proyectar nuevamente hormigón encima. • No aplicar hormigón sobre superficies con agua estancada o corriendo. • Si existe refuerzo, el hormigón debe ser lo suficientemente plástico y lanzado con una velocidad tal que el hormigón puede meterse por todos lados.

Tabla A.48 : ACI 506-2-95 / Ejecución

ACI -SFS	Acabado	Raspar, poner rugosa la superficie si se proyectara hormigón en otras capas.
	Curado	Inmediatamente después de aplicar el hormigón, se debe curar manteniendo húmedo el hormigón por 7 días o hasta que alcance la resistencia requerida o hasta que se coloquen las siguientes capas de hormigón. La curación se puede hacer mediante un rociamiento permanente, cubrir con una estera o capa de arena que se mantiene húmeda, cubrir con una lamina de material impermeable o con aditivos de curado. La curación natural se aceptara si la humedad ambiente se mantiene por sobre el 95%.
	Hormigón Proyectado en Clima Calido	No aplicar hormigón cuando la temperatura del material es sobre 32° C si es por vía húmeda, si es por vía seca no debe ser mayor a 38° C.
	Hormigón Proyectado en Clima Frío	Si la temperatura esta sobre los 4,5° C y sigue aumentando a los 10° C se puede proyectar el hormigón, si esta en los 4,5° C y está disminuyendo la temperatura se debe dejar de proyectar el hormigón o se deben tomar medidas para protegerlo

Tabla A.49 : ACI 506-2-95 / Continuación de Ejecución

A.7 ACI 506.1R-08, Guide to Fiber-Reinforced Shotcrete

	Materiales Especiales	Descripción
ACI -ES	Fibras	<p>Las fibras para el uso en el rebote. Por estas desventajas es utilizado en muchos casos pueden ser hechas de acero, cristal, polímeros sintéticos, y materiales naturales, Las fibras para el uso en el rebote. Por estas desventajas es utilizado en muchos casos. son generalmente divididas en dos grupos por su diámetro. Fibras con diámetros equivalentes mayores que 0.3 mm son conocidos como macrofibras; fibras con diámetros menos de 0.3 mm son conocidos como microfibras.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Macrofibras: Generalmente de diámetros que van desde 0.4 a 0.8 mm y los largos si son de acero son de 19 a 35 mm y si son sintéticas pueden ser de 40 a 50 mm de largo. • Microfibras: si el en el rebote. Por estas desventajas es utilizado en muchos casos. va a estar expuesto al fuego o explosiones las fibras deben ser de polipropileno con diámetros menores a 33 μm y largos menores a 12 mm.
	Otros	A menudo se ocupan materiales cementicios, como la escoria , humo de sílice y ceniza de mosca, estos materiales ayudan para disminuir el rebotey construir capas más gruesas cuando se aplica en forma vertical y altura.

Tabla A.50 : ACI 506.1R-08 / Materiales Especiales

	Procesos	Descripción
ACI -ES	Húmedo	La cantidad de fibras de acero usadas en este método están en el rango de 12 a 60 Kg/m ³ , y las Macrosintéticas están en el rango de 5 a 9 Kg/m ³ y las microsintéticas están en el rango de 0.6 a 2.4 Kg/m ³ .
	Seco	Como el rebote es mayor en seco que en húmedo, generalmente la cantidad de fibras aumenta.

Tabla A.51 : ACI 506.1R-08 / Procesos

	Producción	Descripción
ACI -ES	Agrupación y Mezclado	<ul style="list-style-type: none"> •Húmedo: Cuando las fibras son añadidas a un mezclador en movimiento, se deben incorporar a una razón de 45 kilogramos/minutos para fibras de acero, y aproximadamente 4.5 kilogramos/minutos para fibras sintéticas mientras el mezclador da vuelta en la velocidad máxima. • Seco: La mezcla adecuada debería ser asegurada para conseguir la distribución de fibra buena
	Aplicación	Todo equipo para hormigón proyectado sin fibras puede ser ocupado para hormigón proyectado reforzado con fibras, en el caso de aplicar mediante vía seca, es recomendable humedecer antes de proyectar el hormigón para reducir el rebote. La aplicación debe ser la misma que para un hormigón reforzado.

Tabla A.52 : ACI 506.1R-08 / Producción

	Procedimientos de Ensayos	Descripción
ACI -ES	Hormigón Húmedo	•Densidad y contenido de aire: Si es en proceso seco deben tomarse las muestras en paneles de ensayo, si es un proceso húmedo puede tomarse muestras en la bomba o en paneles.
	Hormigón Endurecido	Las muestras se deben sacar de paneles de prueba o de lugares donde se haya rociado el hormigón los ensayos que se toman son a resistencia, fuerza de compresión, resistencia a flexión, fuerza de corte, adherencia, dureza, energía de absorción, fuerza de falla, etc.

Tabla A.53 : ACI 506.1R-08 / Procedimientos de Ensayos

	Rendimiento del Hormigón Proyectado con Fibras	Descripción
ACI -ES	Resistencia a la Flexión	<p>Las fibras son añadidas para disminuir la fractura al límite de resistencia a la flexión, en general las fibras no son añadidas para aumentar la fuerza a la flexión. Dos métodos desarrollo la ASTM para ver la dureza del hormigón proyectado reforzado con fibra:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Una viga de dimensiones 100 X 100 X 350 mm que es cargada cada 300 mm, se registran las cargas y se produce un diagrama de desviación de cargas. • El otro método es un panel redondo de 800 mm de diámetro y 75 mm de espesor, es apoyado en 3 puntos simétricamente del contorno y se carga en el centro, luego se genera un diagrama de desviación de cargas, que al ser integrado se produce un diagrama de energía v/s desviación. <p>En la práctica normal el método de la viga es para determinar las fuerzas residuales de las fibras encontradas en el hormigón, y el método del panel redondo es usado para el control de calidad y aseguramiento durante la construcción.</p>
	Resistencia a la Compresión	La resistencia a compresión no se ve afectado por la incorporación de fibras al hormigón, en un 0,1 a un 1 % por volumen.
	Resistencia al Corte	La resistencia al corte puede aumentar dependiendo la fibra y la cantidad usada.
	Adherencia	La adherencia entre el hormigón proyectado reforzado con fibras y la roca ha entregado valores de 0,2 a 3,7 Mpa, estos valores varían dependiendo del sustrato, edad de prueba, probetas, etc.
	Consideraciones del Rebote	<ul style="list-style-type: none"> • Por lo general un mayor porcentaje de las fibras de acero que los agregados son los que rebotan, el porcentaje de rebote depende de las dimensiones de la fibra, zona de aplicación, etc. En particular el rebote de las fibras de acero depende de la presión atmosférica del lugar de aplicación, mala mezcla con el hormigón, geometría de las fibras. Una diferencia entre las fibras de acero y las sintéticas, es que estas últimas pueden tener un tamaño más grande que las de acero, debido a su menor rigidez. • La condiciones que reducen el rebote en el proceso por vía húmeda es un contenido mayor de cemento, arena más fina, humedad precisa de modo de que las partículas sean bien cubiertas por el cemento. En el caso de un proceso seco el reducir la presión atmosférica, velocidad del aire, cantidad del aire inyector, fibras más gruesas, ayudan a disminuir el rebote.

Tabla A.54 : ACI 506.1R-08 / Rendimiento del Hormigón Proyectado con Fibras

ACI -ES	Control de la Fisuración por Contracción	<ul style="list-style-type: none"> Las microfibras ofrecen una resistencia a la fisuración por retracción plástica a temprana edad por pérdida de humedad, las macrofibras por su parte proporcionan resistencia a la retracción por secado. Otro problema en el proceso seco del Hormigón proyectado es el rebote, ya que las Partículas mas grandes tienen mayor rebote, es por ello que se aumente el contenido de cemento y con curación inadecuada, se produce un encogimiento a edad temprana. En resumen tanto las macrofibras de acero como sintéticas retrasan la formación de grietas.
	Resistencia al Impacto	Con el estallido de roca dentro de los túneles, las partículas que salen proyectadas y los posibles movimientos de suelo pueden afectar el hormigón de revestimiento, es por ellos que una de las formas de proteger el hormigón es con fibras. Las de acero son las mas eficaces pero las mejoras dependen de la geometría, en cuanto a las sintéticas las macrofibras de polipropileno o de alcohol de polivinilo mejoraron la resistencia, mientras que las de microfibras de carbón son ineficaces.
	Desprendimiento Explosivo por Altas Temperaturas	El hormigón reforzado con fibras tiene una mejor resistencia frente al desprendimiento explosivo cuando se tienen altas temperaturas, las fibras deben tener un diámetro equivalente de al menos 0,0013 pulgadas, para revestimientos de túnel se ocupa en una dosis de 1 a 2 Kg/m3.

Tabla A.55 : ACI 506.1R-08 / Continuación de Rendimiento del Hormigón Proyectado con Fibras

	Consideraciones de Diseño	Descripción
ACI -ES	Generalidades	Aunque el diseño del hormigón reforzado con fibras y el hormigón convencional puede ser muy parecido, al momento de aplicar las capas, los espesores y refuerzos varían.
	Diseño Empírico	Las primeras directrices se han desarrollado a partir de la experiencia local en el soporte de roca bajo el suelo, en túneles, y ha sido basado en experiencia y en la clasificación del macizo rocoso, estas directrices se pueden utilizar para determinar el grosor del hormigón proyectado y las necesidades durante el proceso de construcción. Con el tiempo se ha incluido las otras recomendaciones basadas en pruebas para diversas condiciones de roca y propiedades del acero.
	Mediante Comparación de Momentos	Una forma de determinar la cantidad de fibras necesarias es comparar el momento de una sección de hormigón tradicional con la de un hormigón reforzado con fibras, se calcula los momentos y se puede suponer que la capacidad de momento del hormigón convencional con barras es igual a la capacidad de momento del hormigón reforzado con fibras, se calcula la resistencia residual requerida y luego con ello, y sobre la base de pruebas, determinar la cantidad de fibras.

Tabla A.56 : ACI 506.1R-08 / Consideraciones de Diseño

A.8 ACI 506.5R-09, Guide for Specifying Underground Shotcrete

	Recomendaciones de Documentación para el Hormigón Proyectado	Descripción
ACI-506.5R-09	Requerimientos Previos	Es normalmente requerido por el contratistas de construcción al menos 28 días antes del inicio de construcción. Esto deja el tiempo de organizaciones de proyecto apropiado para revisar y aceptar los requerimientos.
	Documentos de la Tripulación de Trabajo	Calificación y entrenamiento del personal, los resultados serán requeridos al menos 28 días antes de construcción
	Entregar la Certificación del Fabricante Mostrando Fuente y Pruebas de los Materiales Constituyentes	Resultados serán requeridos al menos 28 días antes de construcción. Considerar estos envíos adicionales: • Tener especial cuidado con las temperaturas de almacenamiento de los materiales constituyentes. • Conocer la composición química de todos los aditivos y agregados.
	Entregar Registros de Pruebas para Refuerzos de Soporte del Sustrato	Considerar un hormigón y equipamiento de soporte de la tierra identificando el tipo y características de rendimiento del equipamiento para instalación de soporte de la tierra. Esta información puede ser proporcionado en otro lugar en condiciones similares a las del proyecto.
	Entregar Dosificaciones de los Materiales Constituyentes	Cantidades de agregados, cemento, aditivos, fibras, agua requerida, aceleradores, etc.
	Entregar Métodos Propuestos para Mezclar, Transportar, Acabado y Curación	Considerar una lista completa del equipamiento para cada tarea y tener especial cuidado al curar y proteger el hormigón proyectado en el lugar.
	Entregar Detalles de Plan de Seguridad	Una descripción de equipamiento protector personal, específicamente ropa protectora; cabeza, ojo, respiratorio y protección para los oídos; Descripción de procedimientos para manejar los materiales peligrosos que incluyen agregados, aceleradores, y cementos.

Tabla A.57 : ACI 506.5R-09 / Recomendaciones de Documentación para el Hormigón Proyectado

ACI-506.5R-09	Requerimientos Durante la Construcción	Dependiendo en la complejidad del proyecto, adicionalmente son requeridas consideraciones especiales. Por ejemplo para soportes bajo tierra en donde el sustrato es de mala calidad o las fuerzas que actúan sobre las paredes son altas, para estos casos es necesario considerar soportes especiales.
	Entrega de Resultados del Control de Calidad	Los resultados tendrán que ser entregados diariamente o semanalmente dependiendo de la complejidad del proyecto.

Tabla A.58 : ACI 506.5R-09 / Continuación Recomendaciones de Documentación para el Hormigón Proyectado

	Materiales Constituyentes	Descripción
ACI-506.5R-09	Cemento	El cemento debe estar conforme a ASTM C150 o ser del tipo especificado por el dueño.
	Materiales Cementicos Suplementarios	El humo de sílice estará conforme a ASTM C1240. Ceniza volante conforme a ASTM C618, Clase F o Clase C. Escoria de cemento deberá estar conforme a ASTM C989.
	Agregados	El peso del agregado deberá estar conforme a ASTM C33. Agregado grueso tendrá un 3/8 in. (9.5 mm) medida máxima. Agregado liviano deberá estar conforme a ASTM C330.
	Agua	El agua será especificada en ASTM C1602/C1602M. El agua reciclada no debería ser utilizada, para evitar potencialmente reacciones adversas de rastros residuales de agregados. Si es utilizada debe ser libre de aceite e impurezas químicas u orgánicas o cualquiera otras sustancias nocivas. Se utilizará agua para controlar las temperaturas en el lugar.

Tabla A.59 : ACI 506.5R-09 / Materiales Constituyentes

ACI-506.5R-09	Aditivos	<p>Incorporador de aire deberá estar conforme a los requisitos of ASTM C1141. Es utilizado generalmente en la mezcla húmeda.</p> <p>Reductores de agua, retardantes y controladores de la hidratación deberán estar conformes a los requisitos de ASTM C1141.</p> <p>La introducción de aditivos serán limitados a los tipos especificados y serán añadidos en la manera prescrita y la dosificación aprobada por el dueño.</p> <p>Contenido de los cloruros no serán utilizados dónde el hormigón proyectado contenga elementos estructurales como refuerzos con barras.</p>
ACI-506.5R-09	Fibra de Acero	<p>Fibra de acero deben estar conforme a ASTM A820/A820M y ser adecuadas para producción.</p> <p>Las fibras de acero y micro sintéticas son utilizadas para el refuerzo de hormigón proyectado en construcciones subterráneas.</p> <p>Una ventaja de fibra está relacionado a tiempo de ejecución y a menos cantidad de hormigón para alcanzar un mismo refuerzo.</p> <p>Fibra de acero serán libre de aceite, grasa, corrosión, u otros contaminantes.</p> <p>Fibras sintéticas son utilizadas en un 0,1 a 0,2 % del volumen.</p> <p>Las fibras ayudan a reducir el encogimiento plástico que agrieta el hormigón y mitigar los efectos en fuego.</p>

Tabla A.60 : ACI 506.5R-09 / Continuación Materiales Constituyentes

	Constituyentes	Mezcla Húmeda de Hormigón Proyectado con Aire Incorporado		
		Hormigón Proyectado Normal	Con Humo de Sílice	Con Fibras y Humo de Sílice
ACI-506.5R-09	Agua	300 lb/yd3 (180 kg/m3)	300 lb/yd3 (180 kg/m3)	300 lb/yd3 (180 kg/m3)
	Cemento	675 lb/yd3 (400 kg/m3)	605 lb/yd3 (360 kg/m3)	605 lb/yd3 (360 kg/m3)
	Humo de Sílice	—	70 lb/yd3 (40 kg/m3)	70 lb/yd3 (40 kg/m3)
	Arena	2100 lb/yd3 (1250 kg/m3)	2100 lb/yd3 (1250 kg/m3)	2100 lb/yd3 (1250 kg/m3)
	Agregado Grueso (Máximo 3/8 dentro. [9.5 mm])	840 lb/yd3 (500 kg/m3)	840 lb/yd3 (500 kg/m3)	800 lb/yd3 (475 kg/m3)
	Fibras de Acero	—	—	85 lb/yd3 (50 kg/m3)
	Aditivo Incorporador de Aire	8 fl oz/yd3 (0.3 L/m3)	8 fl oz/yd3 (0.3 L/m3)	13 fl oz/yd3 (0.5 L/m3)
	Aditivo Reductor de Agua	40 fl oz/yd3 (1.5 L/m3)	40 fl oz/yd3 (1.5 L/m3)	40 fl oz/yd3 (1.5 L/m3)
	Alto Rango de Agua Reductor de la Mezcla	—	26 fl oz/yd3 (1.0 L/m3)	40 fl oz/yd3 (1.5 L/m3)
	Asentamiento antes de la Proyección	3 a 5 dentro. (75 a 125 mm)	3 a 5 dentro. (75 a 125 mm)	3 a 5 dentro. (75 a 125 mm)
	Contenido de Aire antes de la Proyección	7 a 10%	7 a 10%	7 a 10%

Tabla A.61 : ACI 506.5R-09 / Constituyentes de la Mezcla Húmeda de Hormigón Proyectado con Aire Incorporado

ACI-506.5R-09	Requisitos de Rendimiento				
	Propiedades del Hormigón Proyectado	Método de Prueba	Edad	Límites de Mezcla Húmeda de Hormigón Proyectado	Límites de Mezcla Seca de Hormigón Proyectado
	Máximo w/cm		—	0.40 a 0.45	0.35 a 0.45
	Contenido de Aire Cuando se Proyecto (%)	ASTMC231	—	4	—
	Contenido de Aire Inmediatamente antes de la Proyección (%)		—	7 a 10	—
	Aentamiento antes de Proyectar (mm)	ASTMC143/C143M	—	3±1(80±30)	—
	Factor Máximo Espaciamento Proyectado (p,m)	ASTM C457	—	0.012 (300)	0.012 (300)
	Máxima Absorción,%	ASTM C642	7 días	8	8
	Máximo Volumen de Vacíos Permeables,%	ASTM C642	7 días	17	17
	Mínima Fuerza Compresiva, psi (MPa)	ASTMC1604/1604M	8 horas	800 (5.5)	800 (5.5)
1 día			1200 (8)	1200 (8)	
3 días			2200 (15)	2200 (15)	
7 días			4350 (30)	4350 (30)	
28 días			5800 (40)	5800 (40)	
Mínimo Fuerza Flexural,* psi (MPa)	ASTMC1609/C1609M orASTMC78	7 días	600 a 650 (4.0 a 4.5)	600 a 650 (4.0 a 4.5)	
Mínimo Energía de Dureza, Joules	ASTM C1550	7 días	280	280	
Mínimo Nivel de Rendimiento de Dureza	Morgan et al. (1995)	7 días	—	—	

Tabla A.62 : ACI 506.5R-09 / Requisitos de Rendimiento

Guía para el Control de la Calidad	
Especificación	Notas al Especificador
Elaboración del Control de Calidad	El dueño es típicamente responsable de la planificación de calidad y administración global que incluye la selección de individuos y organizaciones competentes y el establecimiento de un sistema de control de calidad que conocerá los objetivos del dueño.
Revisión del Contratista.	La implementación de controles establecidos tendría que ser descrita en un programa de calidad que documente los procedimientos e instrucciones para ser llevadas a cabo. Los controles establecidos pueden incluir evaluación de proveedor y selección, aprovisionamiento, documentos, recibiendo inspección, almacenamiento, manejo cualificación de materiales
Revisión y aprobación de Documentos por el Dueño	El dueño también tendría que reservar el correcto acceder de todos los registros aplicables y documentos, como: documentos contractuales, procedimientos de calidad e instrucciones, registros de cualificaciones del personal, dibujos de diseño y cálculos, especificaciones, documentos de aprovisionamiento, registros de cualificación material, órdenes de cambio, informes técnicos, fotografías, inspección y registros de prueba, etc.
Revisión del Túnel antes de la Proyección del Hormigón	Examinar y aprobar todas las áreas preparándolas para la proyección, incluyendo preparación de roca, instalación de medidas de control del agua, anclas, refuerzo, y dispositivos para controlar el grosor de las capas de hormigón, antes de la aplicación.
Responsabilidades del Inspector	Proporcionar inspectores para controlar la aplicación del hormigón proyectado, con la autoridad para requerir extracción y sustitución de inconformidades del hormigón proyectado mientras todavía este fresco.
Controlar Resultados de Testigos	Regularmente controlar los resultados del testeo de control de la calidad del contratista.
Control del Hormigón Frente a Especificaciones	Implementar un programa para evaluar en el lugar el hormigón proyectado para darle la aceptación o rechazo, donde los resultados de prueba de la construcción indican si el hormigón esta conformado a las especificaciones de proyecto.

Tabla A.63 : ACI 506.5R-09 / Guía para el Control de la Calidad

ACI-506.5R-09	Control de calidad	El contratista implementará un programa de calidad para el todo el trabajo que rodea al hormigón proyectado para asegurar conformidad con los documentos de contrato. Tal programa incluirá, pero no limitará estas especificaciones.
	Mantenimiento de registros de prueba para toda operación	Cada organización tendría que ser responsable para el contenido técnico y precisión de sus registros o documentos que amueblan evidencia de calidad de materiales, equipamiento o actividades. Registros o documentos deben ser firmados por un individuo responsable de la organización que inicia el registro. Un índice tendría que ser establecido y mantenido para identificar y recuperar un registro específico por el designado individual u organización.

Tabla A.64 : ACI 506.5R-09 / Continuación Guía para el Control de la Calidad

	Aplicación del Hormigón Proyectado	Descripción
ACI-506.5R-09	General	Ambos métodos, secos y mojados están empleados para aplicaciones de soporte de la tierra. Especializado, experimentado, tripulación bien entrenada los miembros son esenciales en aplicaciones exitosas. A pesar de las técnicas se especifican en cada método, el operador debe tener los requisitos para una aplicación apropiada, estos son descritos en ACI 506R y tendría que ser seguido como requisito básico de todo proyecto subterráneo.
	Aditivos	La aplicación que emplea aditivos como humo de sílice y acelerantes debe cumplir con las recomendaciones de los fabricantes para práctica apropiada.
	Limpieza del Sustrato	Se deberán tomar precauciones para impedir el revote o residuos en el áreas de trabajo, Las áreas adyacentes a la superficie de recibir el hormigón y el sustrato serán mantenidos en limpias.
	Ventilación	Ventilación adecuada será proporcionado al área de trabajo para asegurar visibilidad buena. Precauciones serán tomadas para impedir viento o agua que influya a la calidad del trabajo en el sustrato o superficie acabada.
	Condiciones para la Proyección	Plataformas laborables seguras y adecuadas para las máquinas y bombas de modo que el empleado pueda acceder el área de trabajo en óptimas condiciones, además proporcionar distancia apropiada y ángulo de incidencia para la operación.
	Control de grosor	Un mínimo grosor es normalmente necesario para un sistema de soporte de suelo integral. Será colocado al grosor y tolerancia mostrado en los dibujos de proyecto y citado en las especificaciones de contrato. El grosor también puede ser requerido para proteger el acero de reforzar u otro acero de soporte de corrosión (por ejemplo, en agua túneles) o para protección de fuego.

Tabla A.65 : ACI 506.5R-09 / Aplicación del Hormigón Proyectado

A.9 ÖVBB, Sprayed Concrete Guideline, 2006

	Recomendaciones	Descripción
ÖVBB-SCG	General	<p>Debido a razones de Higiene Laboral, sólo podrán ser empleados los acelerantes libres de álcalis (AFA), se indica a continuación en materiales.</p> <p>La aplicación de hormigón proyectado abarca todo el ámbito de la construcción, dando especial énfasis a aplicaciones como:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reemplazo de encofrado • Aplicación en capas delgadas • Requisitos para resistencias tempranas • Métodos constructivos especiales <p>Para la planificación y ejecución de obras, se clasifican los diferentes tipos de hormigón proyectado según Requisitos y Clasificación que se detalla mas adelante.</p>
	Materiales	<p>Para definir el acelerante indicado, se harán ensayos de laboratorio para comparar compatibilidades con diferentes cementos, en una institución independiente (ensayo no debe tener más de 3 años de antigüedad), en la tabla A.80 se detallan las exigencias para acelerantes según norma EN-934-5</p>

Tabla A.66 : ÖVBB, SCG, 2006 / Recomendaciones

Característica	Método de Ensayo	Exigencias
Estabilidad de almacenamiento	Ensayo visual (# 12.1.5)	Homogéneo
Color	Ensayo visual	Uniforme y según antecedentes de fabricante
Materiales Activos	EN 480-6	Sin alteraciones entre espectrofotometría y antecedentes entregados por fabricante
Densidad Relativa	ISO 758	D= densidad entregada por fabricante
		D > 1,1 tolerancia + 0,03
		D < 1,1 tolerancia + 0,02
Contenido de Sólidos	EN 480-8	0,95 T ≤ X < 1,05 T
		Para T > 20 % en peso
		0,9 T < X < 1,1 T
		Para T < 20 % en peso
		T = contenido de sólidos
		X = resultado de ensayo en % según peso en seco
Valor ph (solo para líquidos)	ISO 4316	3 < ph < 8
Contenido cloruros	EN ISO 1158	< 1 % en peso
Cloruros diluidos	EN 480-10	< 1 % en peso
Equivalente Na ₂ O	EN 480-12	< 1 % en peso
Comportamiento a corrosión	EN 480-14	Ningún efecto corrosivo en armadura de acero
Adicional para acelerantes de fraguado:		
Tiempo de fraguado (1)	Mortero patrón según EN 480-1 con relación a/c < 0,5 y ensayo según EN 480-2	Inicio fraguado < 10 min, fin de fraguado < 60 min (promedio de 3 mediciones)
Resistencia a presión UCS (2)	Mortero patrón según EN 480-1 y ensayo según EN196-1	Después de 28 d > 80% de resistencia mezcla patrón después de 90 d > resistencia patrón a 28 d

Adicional a EN-934-5		
Caída de resistencias (3)	Conforme EN 196-1 (#12.2.3) y mismo cemento (Temp20°C+2°C)	< 20%
Contenido de sulfato (como SO4) (4)	Conforme EN 196-2	< 4,8% como suma de cemento y acelerante
Al2O3 (diluido) para hormigón sulfuresistente Agua con contenido de SO4 sobre 600 g/lit (4)	Ver # 12.1.7	Al2O3 x dosificación de acelerante < 115
Homogeneidad	Ensayo visual con probeta de 1000 l	Sin sedimentación según instrucciones de fabricante (5)

Tabla A.67 : ÖVBB, SCG, 2006 / Características, medios de ensayos, exigencias

(1) Al contrario de Norma EN 480-1, se adiciona el acelerante justo antes de finalizar de mezclar el mortero cementicio. Al contrario de EN 480-2 la masa de ensayo es de 300 g

(2) relación a/c ≤ 0,5. Temperatura mortero 5°C±1°C. Temperatura ambiente 20 °C±1°C.

(3) Si el método de la EN 480-8 no es adecuado, el fabricante debe recomendar un método de ensayo alternativo.

(4) la frecuencia de ensayos para el autocontrol referente a caída de resistencias deberá realizarse cada mes, para medición de SO₃ y AL₂O₄ cada 3 meses

(5) el plazo de comienzo de decantación debe ser informado por el fabricante en su ficha técnica

	Mezcla seca	Mezcla húmeda
Cemento	310 a 360 kg / m ³	380 a 450 kg / m ³
adiciones (ej. ceniza volante)	50 a 30 kg / m ³	70 a 0 kg / m ³
Dosificación de material ligante (cemento y adiciones)	340 a 400 kg / m ³	400 a 500 kg / m ³
Relación agua-cementante	< 0,5 para resistencias tempranas J2 y/o J3	-
Consistencia (trabajabilidad)	-	55 a 70 cm
Granulometría máxima	11 mm	

Tabla A.68 : ÖVBB, SCG, 2006 / Dosificaciones

	Requisitos y Clasificación del Hormigón Proyectado	Descripción
	Introducción	Los requisitos del hormigón proyectado se definen a partir de una combinación de criterios, correspondientes a las clases de funcionalidad estructural, a las clases de resistencias tempranas, a las clases de resistencia final y por último, a partir de propiedades especiales que más adelante se definen.
ÖVBB-SCG	Clases del Hormigón Proyectado según Funcionalidad Estructural	<p>Bajo este criterio, el hormigón proyectado es clasificado de acuerdo a sus aplicaciones y funciones estructurales, distinguiéndose 3 tipos de clases (de menor a mejor calidad), correspondientes a las clases I, II y III.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hormigón Proyectado sin funcionalidad estructural (Clase SpB I): Corresponde a un hormigón sin requisitos estructurales (p. ej. Sostenimiento temporal) • Hormigón Proyectado con funcionalidad estructural (Clase SpB II): Utilizado para cumplir funciones de revestimiento permanente. Usado, entre otras aplicaciones, para revestimientos primarios, para soporte de frentes de excavación en túneles y para la estabilización de taludes y trincheras. Debe especificarse el grado de resistencias tempranas (J1, J2, J3) • Hormigón Proyectado con funcionalidad estructural especial (Clase SpB III): Esta clase del hormigón proyectado es adecuada para el revestimiento primario de excavaciones bajo áreas construidas o con poca tapada, para revestimientos de una única colocación, para la protección de taludes excavados y para superficies en contacto permanente con agua. También se aplica para la reparación de estructuras de hormigón armado, de albañilería y en general, para toda aplicación de carácter especial.

Tabla A.69 : ÖVBB, SCG, 2006 / Requisitos y Clasificación del Hormigón Proyectado

ÖVBB-SCG	Requisitos y Clasificación del Hormigón Proyectado	Se debe procurar la continuidad estructural y homogeneidad del hormigón proyectado (generalmente no se pide J3). Si la superficie donde se debe proyectar el hormigón proyectado se encuentra con infiltraciones de importancia, éstas deben ser tratadas previamente.
----------	----------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Tabla A.70 : ÖVBB, SCG, 2006 / Continuación de Requisitos y Clasificación del Hormigón Proyectado

	Resistencia Temprana	Descripción
ÖVBB-SCG	Clases de resistencia temprana del hormigón proyectado fresco	<p>El hormigón proyectado fresco se define como aquel hormigón proyectado hace menos de 24 horas.</p> <p>En lo que respecta a los requisitos que se deben cumplir en términos del desarrollo de la resistencia, el hormigón proyectado fresco se clasifica sobre la base de 3 clases de resistencia temprana (J1, J2, J3), determinadas a partir de muchos años de experiencia.</p> <p>Un desarrollo adecuado de la resistencia durante los primeros minutos es una condición previa para la generalidad de las proyecciones.</p> <p>El desarrollo de la resistencia durante los primeros minutos tiene una gran influencia sobre la formación de polvo y de rebote. Si la resistencia se alcanza de modo muy rápido, el hormigón proyectado se endurece instantáneamente luego de ser proyectado, lo que impide la debida integración de las partículas más gruesas. Por lo tanto, para mantener la formación de polvo y de rebote dentro de límites aceptables, la resistencia medida después de 2 minutos en condiciones normales no debe exceder de 2 kgf / cm². En presencia de infiltraciones o sobre un sustrato desfavorable, quizás sea necesario alcanzar una mayor resistencia en pocos minutos, lo que sin embargo implicará una mayor cantidad de polvo y de rebote.</p>

Tabla A.71 : ÖVBB, SCG, 2006 / Resistencia Temprana

ÖVBB-SCG	Clases de resistencia temprana del hormigón proyectado fresco	<p>El desarrollo de la resistencia en el hormigón proyectado fresco está determinado por el ensayo de penetración con aguja. Los intervalos de las mediciones deben ser tales, que permitan la obtención de una grafica continua de la resistencia temprana.</p> <p>Como regla general, el desarrollo de la resistencia del hormigón proyectado se mide para el período comprendido entre 6 minutos y 6 horas tras la proyección del hormigón y luego de éste, a las 24 horas. Mediciones tras 9 ó 12 horas luego de la proyección del hormigón se requieren en casos especiales, como los de las excavaciones bajo áreas construidas.</p> <p>El hormigón proyectado de clase J1 es adecuado para la proyección en capas delgadas sobre un sustrato seco, sin requisitos especiales de carga, ofreciendo como ventaja la baja formación de polvo y rebote.</p> <p>Si el hormigón debe ser proyectado en capas más gruesas o de sobre cabeza, se requiere un hormigón clase J2. Capas más gruesas se requieren frente a infiltraciones o a operaciones que impliquen cargas inmediatas como por ejemplo, la perforación e inyección de anclajes o vibraciones debido a las voladuras. (Se requiere también para aplicación sobre cabeza en grandes espesores. El hormigón de clase J2 aplica también para el caso de cargas rápidas debido a presiones del terreno.</p> <p>Debido a la mayor formación de polvo y de rebote, el hormigón proyectado clase J3 sólo debe ser especificado en circunstancias especiales, como por ejemplo, ante una fuerte infiltración de agua. Se requiere igualmente en caso de avances rápidos o casos especiales (requerimientos estáticos).</p>
----------	---------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Tabla A.72 : ÖVBB, SCG, 2006 / Continuación de Resistencia Temprana

	Resistencia Final	Descripción														
ÖVBB-SCG	Clases de Resistencia final del Hormigón Proyectado	<p>Las clases de resistencia final del hormigón proyectado se establecen a partir de la resistencia a la compresión de 5 probetas, las que deben ser ensayadas a más tardar, al día especificado por el proyectista.</p> <p>Habitualmente se especifican las edades de 28, 56 y 90 días. Los valores mínimos de las resistencias a la compresión son:</p> <table data-bbox="1050 470 1848 844"> <thead> <tr> <th data-bbox="1050 503 1428 544">Clases</th> <th data-bbox="1428 470 1848 584">Resistencia a la Compresión (tomado en testigo cilíndrico con esbeltez = 1) [kgf / cm²]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="1050 584 1428 625">SpB 10 (X)</td> <td data-bbox="1428 584 1848 625">≥ 100</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1050 625 1428 665">SpB 15 (X)</td> <td data-bbox="1428 625 1848 665">≥ 150</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1050 665 1428 706">SpB 20 (X)</td> <td data-bbox="1428 665 1848 706">≥ 200</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1050 706 1428 747">SpB 25 (X)</td> <td data-bbox="1428 706 1848 747">≥ 250</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1050 747 1428 787">SpB 30 (X)</td> <td data-bbox="1428 747 1848 787">≥ 300</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1050 787 1428 828">SpB 40 (X)</td> <td data-bbox="1428 787 1848 828">≥ 400</td> </tr> </tbody> </table> <p>Si se especifica una resistencia a 56 ó 90 días, irá entre paréntesis</p>	Clases	Resistencia a la Compresión (tomado en testigo cilíndrico con esbeltez = 1) [kgf / cm ²]	SpB 10 (X)	≥ 100	SpB 15 (X)	≥ 150	SpB 20 (X)	≥ 200	SpB 25 (X)	≥ 250	SpB 30 (X)	≥ 300	SpB 40 (X)	≥ 400
Clases	Resistencia a la Compresión (tomado en testigo cilíndrico con esbeltez = 1) [kgf / cm ²]															
SpB 10 (X)	≥ 100															
SpB 15 (X)	≥ 150															
SpB 20 (X)	≥ 200															
SpB 25 (X)	≥ 250															
SpB 30 (X)	≥ 300															
SpB 40 (X)	≥ 400															

Tabla A.73 : ÖVBB, SCG, 2006 / Requisito Final

	Hormigón Proyectado con Propiedades Especiales	Descripción
ÖVBB-SCG	General	<p>Los requerimientos especiales dicen relación con las propiedades de los materiales del hormigón proyectado, y no así, con la estructura.</p> <p>Un hormigón proyectado de propiedades especiales debe ser al menos uno de clase de resistencia final SpB 25, independiente de su edad.</p> <p>Hormigones proyectados con propiedades especiales pueden ser:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hormigón Proyectado con impermeabilidad y resistencia a heladas (WU, FB) • Hormigón Proyectado con alta resistencia contra ataques químicos (TST, LST) • Hormigón proyectado con alta resistencia contra ataques mecánicos (MA) • Hormigón Proyectado resistente a heladas y a ciclos de deshielo (FTB)

Tabla A.74 : ÖVBB, SCG, 2006 / Hormigón Proyectado con Propiedades Especiales

A.10 NB, Publication N° 7, Sprayed Concrete for Rock Support - Technical Specification, Guidelines and Test Methods, 1999

	Especificación para el Hormigón Proyectado	Descripción
NB - Pub N° 7	Generalidades	<ul style="list-style-type: none"> •Clasificación ambiental, composición del concreto: Esto para referencia del tipo de material a utilizar dependiendo de las características del entorno(cantidades de materiales en la composición del hormigón). Esta clasificación de especifica en la tabla n°1 de la referencia [18]. •Clasificación fuerza compresiva del hormigón: Es evaluada la fuerza de compresión entre un mínimo de 28 días hasta un máximo de 56 días (muestras obtenidas in situ de la misma estructura, perforadas), de acuerdo a las clases de hormigón mostradas en la tabla 2 de la referencia [18]. •Cantidad de fibra, clases de absorciones de energía/dureza •Resistencia temprana: Especificada por el mandante para sus requerimientos. •Espesor: Durante la aplicación del hormigón proyectado todas las cavidades deben ser rellenadas. antes de realizar la capa. El mínimo de grosor no debe pasar el 60% del valor especificado
	Trabajos Preparatorios	Toda la roca suelta es removida, realizar mapeo geológico (evaluar la roca calidad), condiciones de drenaje, limpieza de substratos, protección de los alrededores, la temperatura no debe estar por debajo de los 2°C. La distancia entre el inyector y el substrato no debe superar los 2 m.
	Curado	<ul style="list-style-type: none"> •El hormigón proyectado debe ser protegido contra las heladas hasta quela resistencia del hormigón sea de 5MPa. •La acción debe comenzar inmediatamente después del rociado. Esto podría hacerse través de agua pulverizada o endurecedor de la membrana. El endurecedor de membrana se debe aplicar de tal manera que una película continua se forme para evitar la evaporación del agua. Si se ocupa agua debe mantenerse húmedo 4 días.

Tabla A.75 : NB, Pub N° 7, 1999 / Especificación para el Hormigón Proyectado

NB - Pub N° 7	Control de Calidad y documentación	<ul style="list-style-type: none"> •El equipo encargado de la planificación, organización y trabajo, así como las rutinas de gestión y documentación de la calidad debe ajustarse al tipo, tamaño y duración de cada proyecto. •Para el plan de control se realizan inspecciones limitadas, inspecciones normales e inspecciones con un control más amplio. •En la inspección normal las rutinas de la responsabilidad y la información para el operador debe estar indicado en el organigrama del proyecto. La calidad y la aplicación son atendidos a través de la organización regular de los contratistas, pero bajo la responsabilidad y la autoridad del contratista de hormigón proyectado. •En la inspección ampliada la documentación debe incluir <ul style="list-style-type: none"> - Inspección de los materiales antes de la pulverización - Inspección de productos de hormigón proyectado - Documentación de las propiedades, si estos son requeridos por las especificaciones.
---------------	------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Tabla A.76 : NB, Pub N° 7, 1999 / Continuación de Especificación para el Hormigón Proyectado

	Especificación adicionales para el Hormigón Proyectado, cuando es utilizado como Protección de Incendios	Descripción
NB - Pub N° 7	Mezcla de diseño	Cuando se utiliza el refuerzo de malla hormigón proyectado debe ser diseñado para ser viable y tienen buenas propiedades de flujo también con el acelerador a fin de optimizar la distribución del refuerzo. El concreto debe tener un valor tan bajo potencial de contracción posible.
	Acción de Curado	Si la duración entre las capas proyectadas son demasiado largos, se toman medidas especiales que se llevarán a cabo para evitar la deshidratación antes de rociar la capa siguiente.
	Espesor	El espesor medio de proyección de las estructuras de malla reforzada será de 70 mm. El grosor medio de proyección de fibra de estructuras de hormigón será de 60 mm. Cuando se utiliza el refuerzo de malla de la cubierta hacia la PE-espuma será de 25 mm con una tolerancia de + / - 5 mm. Cuando existan tramos continuos de fuego protegida PE-espuma, se utiliza inductores grieta se deben establecer por lo menos cada 100 metros.
	Preparación de PE-espuma	Para garantizar la vinculación adecuada entre el hormigón proyectado y la espuma de PE, cuando se utiliza acero de refuerzo de fibra única (sin malla de refuerzo), es aconsejable fregar las placas de ante mano.

Tabla A.77 : NB, Pub N° 7, 1999 / Especificación adicionales para el Hormigón Proyectado, cuando es utilizado como Protección de Incendios

	Diseño	Descripción
NB - Pub N° 7	Evaluación de la Calidad del Macizo Rocoso para la Selección de Soporte de Rocas	La estabilidad general de la roca debe ser evaluada sobre la base de la cartografía geológica. La estabilidad puede ser calculada a partir de los parámetros de roca registrados y las fuerzas que actúan en el sistema. En Noruega se utilizan los sistemas de clasificación Q y RMR.
	Rendimiento y la Falta de Mecanismos	Cuando se utiliza hormigón proyectado para la estabilización de túneles que es importante que el apoyo temporal está diseñado de tal forma que pueden ser incorporados en el apoyo permanente.
	Fibras de Acero	Para valores de $Q < 4$ o para suelos arcillosos o deformables se debe ocupar hormigón proyectado con refuerzo de fibras de acero.
	Mecanismo de Falla	<p>Los tres principales mecanismos de falla de una capa de hormigón proyectado son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Por corte • Falla en la unión • Por flexión <p>El hormigón reforzado con fibras de acero es el más utilizado en Noruega, la ductilidad/resistencia dependen del volumen de fibra y de la geometría. Pruebas de laboratorio muestran que el volumen de fibra de menos de 40 kg/m³ no tienen influencia significativa en la resistencia del hormigón proyectado. Sin embargo, 50 kg/m³ de fibras tienen una gran influencia en la resistencia.</p>
	Espesor Requerido	<p>Para determinar el espesor de hormigón proyectado, deben ser considerado la aspereza de rebote, sobre excavación y el sustrato. Por lo general, el volumen teórico debe ser multiplicado por un factor de 1,3 a 1,8 para obtener el espesor requerido. En la tabla 10 se especifican los valores de los vínculos de unión entre el la roca y el hormigón.</p> <p>Cuando la calidad del sustrato es muy mala se deben utilizar pernos de adherencia.</p> <p>Cuando se ocupe fibras de acero como refuerzo, el espesor debe ser mayor al tamaño de la fibra, en general deben ser mayores a 6 cm.</p> <p>Cuando la roca es muy mala el espesor debe ser de al menos 25 a 30 cm.</p>

Tabla A.78 : NB, Pub N° 7, 1999 / Diseño

NB - Pub N° 7	Hormigón proyectado de las Zonas de Arcilla	<p>El hormigón reforzado con fibras de acero en conjunto con pernos, es un buen mecanismo para el soporte. El ancho de la zona de la arcilla determinara si es necesario proyectar hormigón o proyectar arcos de hormigón. Si la zona de arcilla es superior a 1 m es en un ángulo agudo, un especialista debe ser consultado.</p> <p>Ahora si la zona es muy mala con presencia de roca triturada es necesario la instalación de marcos reforzados, generalmente las barras son de 16 mm de diámetro. Para recubrir estos arcos por lo general se ocupan capas de 100 a 150 mm, puede ser con refuerzo de fibras,</p>
	Hormigón Proyectado en Zonas de Altas Tensiones	<p>Para zonas de altas presiones además de proyectar hormigón, se refuerza con pernos y placas de acero, estos refuerzos son comúnmente utilizados en proyectos de centrales hidroeléctricas, En algunos casos se instala pernos fuera del hormigón proyectado para suplantar uniones y no permitir desprendimientos. Cuando ocurren desprendimiento primero se proyecta hormigón y luego se instalan los pernos.</p> <p>La experiencia dice que aumenta el costo-beneficio al rociar todo el túnel con hormigón.</p>
	Hormigón Proyectado en Fugas de Agua	<p>Proyectar hormigón de las zonas de pequeña fuga sin drenajes implica mucho rebote y dará como resultado lo más probable la penetración del agua y la carbonatación del hormigón. Instalación de canales de drenaje para conducir el agua a la zanja del túnel también es una posible solución, pero esto es una pérdida de tiempo y costo. Hasta cierto punto es posible reducir o mover las fugas de agua por aplicación del hormigón proyectado.</p>

Tabla A.79 : NB, Pub N° 7, 1999 / Continuación de Diseño

Equipos para proceso Vías Húmeda	<p>Las bombas mono robotizadas pueden proyectar hasta 12 m³/h en cambio las bombas de pistón pueden entregar hasta 20 m³/h.</p> <p>La boquilla debe ser diseñado para la adición de acelerante y aire comprimido para obtener la velocidad y la alta compactación del hormigón.</p> <p>Aditivos líquidos deben mezclarse con el aire comprimido dentro de la boquilla antes de ser mezclada con el concreto.</p> <p>Para procesos vías seca leer EFNARC</p>
Condiciones del Entorno	<p>El operador debe estar protegido contra el rebote, pero debe estar lo suficientemente cerca para poder tener visión del trabajo a realizar. El área de trabajo debe estar iluminado,</p> <p>El operador se coloca en una cabina cerrada con filtro de polvo</p> <p>Cuando el operador está fuera de la cabina del equipo de protección mínimo debe incluir:</p> <ul style="list-style-type: none"> •Casco, gafas de protección, máscara de polvo, ropa y calzado adecuado, normalmente se utiliza para el trabajo concreto fresco
Hormigón	<p>El diseño del hormigón debe estar diseñado para las condiciones del proyecto como temperatura, sustrato, condiciones de apoyo, etc.</p>
Curado	<p>Las medidas de curado son aplicar agua sobre la superficie de hormigón proyectado, aplicar una membrana sobre la superficie y aplicar aditivos químicos.</p> <p>En lugares donde la membrana puede gotear, como el techo, debe aplicarse el curado a razón de 0,5 l/m².</p>

Tabla A.80 : NB, Pub N° 7, 1999 / Guías Generales

NB - Pub N° 7	Clasificación de la Resistencia del Hormigón	<p>La resistencias mínimas están dadas por la tabla 2 de la referencia [18].</p> <p>Resistencia inicial: Mediciones de resistencia inicial de preferencia debe comenzar después de aproximadamente 10 min. Se mide antes de las 6 horas y después que se ha ganado una fuerza mínima de 2 Mpa.</p>
	Medición de la Resistencia	<p>Ocupar el método de la viga generalmente es difícil de ocupar, debido a que los requisitos son muy estrictos, esto se debe a la variación del material recibido, equipos de prueba y procedimientos de prueba, es por ello que se utiliza el método de las placas descrito en la EFNARC.</p> <p>La adición de fibras normalmente no afectan a la resistencia a la tensión de flexión.</p> <p>Requisitos a la resistencia a la tracción rara vez se especifican. La razón de esto es que las propiedades de relevancia de esta resistencia son marginales cuando se requiere gran dureza.</p>
	Durabilidad	<p>El espesor es uno de los parámetros más importantes para lograr una construcción duradera.</p> <p>Las experiencias de una serie de túneles de carretera indican que el espesor de hormigón proyectado debe ser de al menos 60 milímetros.</p> <p>Otros métodos que afectan la durabilidad son la resistencia a las heladas, contenido de cloruro, absorción de agua.</p>
	Composición del Hormigón	<p>Cemento: El contenido de cemento en el hormigón proyectado suele ser de entre 440-550 kg/m³. El tipo de cemento y la cantidad debe ser elegido sobre la base de los requisitos de propiedades de durabilidad, resistencia, la flexibilidad del hormigón fresco y de unión.</p> <p>Sílice: La dosis debe ser entre un 3% y un 15% del peso del cemento, es muy importante tanto para el hormigón fresco y endurecido. El humo de sílice mejora la capacidad de bombeo del hormigón proyectado y reduce el desgaste de las bombas y líneas. El humo de sílice en el hormigón endurecido se contribuirá a una mayor resistencia y densidad, entre otros atributos.</p> <p>Agregados: la tabla 12 de la referencia [18] muestra los valores límites de las partículas con su tamiz correspondiente, las partículas sobre los 20 mm deben ser retiradas ya que pueden bloquear la boquilla y la limpieza posterior puede llevar mucho tiempo. El agregado no debe ser más del 30% del total de la mezcla.</p>

Tabla A.81 : NB, Pub N° 7, 1999 / Continuación de Guías Generales

NB - Pub N° 7	Composición del Hormigón	<p>Agua. Se debe ocupar agua dulce, libre de contaminantes</p> <p>Aditivos: Factores como por ejemplo, tipo de aditivo, el tipo de acelerador, la dosificación del acelerador y el equipo de pulverización tiene un efecto significativo sobre las propiedades del hormigón proyectado. Los aditivos pueden influir en la consistencia de hormigón, la estabilidad, la capacidad de bombeo y desarrollo de la fuerza. Algunos plastificantes pueden tener un efecto negativo sobre la estabilidad del hormigón proyectado.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Súper Plastificantes: Tienen mayor capacidad de reducción de agua y mayor estabilidad frente a caída de altura. Mayor desarrollo de resistencias iniciales, especialmente en las primeras 5 horas. • Incorporador de aire. Si el volumen total de aire es superior al 5%, el aire tendrá una tendencia a comprimir cuando se bombea a altas presiones. • Curado interno: Se puede agregar un compuesto a la mezcla que implique redundante el uso de la membrana, pueden mejorar los vínculos para las demás capas de hormigón. <p>Fibras de acero: La adición de fibras de acero, mejora significativamente la resistencia de concreto y también mejora la unión entre el hormigón y roca. Las fibras de polipropileno no se han utilizado en Noruega debido a la dureza aumenta sólo marginalmente en comparación con las fibras de acero y por las demás contribuciones positivas de las fibras de polipropileno.</p> <p>Las fibras se deben agregar lentamente y de manera uniforme para evitar la formación de grumos. Las fibras requieren un hormigón muy húmedo durante la adición.</p>
	Prácticas de Control de Calidad	<p>Los principales puntos siguientes deben servir de base para el aseguramiento de la calidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hormigón proyectado debe ser especificado de acuerdo las características de hormigón proyectado (a continuación). • Cada sección de trabajo solo debe ser ordenado y especificado en el acuerdo con el formulario entregado en la pág. 67 de la referencia [18]. • Inspección del hormigón debe ser documentada y la documentación debe ser presentada de acuerdo a la "Calidad de Documentación" presentada en la referencia [18]. <p>Realizar informes periódicos con información de la proyección del hormigón.</p>

Tabla A.82 : NB, Pub N° 7, 1999 / Continuación de Guías Generales

NB - Pub N° 7	Características del Hormigón Proyectado	<p>Independientemente de que el hormigón proyectado sea parte de la estabilización permanente debe cumplir con.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Clasificaciones de resistencia a la compresión (C30 - C55). • Clasificación ambiental (NA - MMA) • Clasificaciones de inspección (limitado, normal, extendida) • Clasificación de la dureza, la clasificación de absorción de energía, el tipo de fibra y cantidad. • Dar espesor en centímetros. <p>Eventuales especificaciones adicionales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Documentación de resistencia a la tensión de flexión. • Procedimientos especiales de limpieza (disolventes de grasa, etc.) • Resistencia inicial
	Calidad de Documentación	<p>Durante la pre-pruebas y a medida que continúen los trabajos, pruebas e inspección deben documentarse de acuerdo a las especificaciones descritas.</p> <p>La documentación debe ser producida y transmitida del proveedor al contratista antes que comiencen los trabajos, en particular los siguientes documentos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Documentación de la idoneidad global. • Partículas de agregado de distribución de tamaño, módulo de finura y el contenido de lodos. • Los resultados de la prueba previa, si dichas pruebas se especifican. <p>Además periódicamente se deben entregar:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los resultados del control agregado de acuerdo a las normas de control. • Los datos de contenido de humedad agregada y la mezcla de agua añadida. • Temperatura • Resistencia a la compresión y la densidad <p>Además el contratista le debe entregar al dueño documentación del proveedor y los informes de pulverización, resistencia a la compresión y densidad de los núcleos extraídos, informe sobre las resistencia inicial y pruebas de resistencia si lo especifica.</p>

Tabla A.83 : NB, Pub N° 7, 1999 / Continuación de Guías Generales

	Métodos de Ensayos	Descripción
NB - Pub N° 7	Resistencia Inicial	<p>Resistencia inicial se medirá por medio del método de penetración de la aguja. Este método se utiliza para medir la fuerza necesaria para impulsar una aguja de dimensiones especificadas en el hormigón proyectado a una profundidad de 15 mm. Se indica la resistencia a través de un resorte calibrado y estos datos se pueden derivar a una curva de conversión.</p> <p>El método se puede utilizar 0,1 a 1,2 MPa, con una penetración de la aguja de un diámetro de 3 mm. Resistencia inicial dependerá de espesor de hormigón, una capa más fina (Por ejemplo, 5 cm) tendrá un desarrollo de la fuerza más lento que una capa más gruesa (por ejemplo 15 cm).</p>
	Desarrollo de la Fuerza	<p>Se puede utilizar cuando la resistencia a la compresión en el lugar es de 2-15 Mpa. El método implica que un perno se introduce en el hormigón proyectado y se determina la profundidad de penetración (<20 mm).</p> <p>La relación de extracción del perno y fuerza a la profundidad de penetración se puede utilizar para obtener una resistencia a la compresión estimada a partir de una curva de conversión.</p>
	Resistencia	<p>Existen 2 tipos de prueba para determinar la resistencia, el de la viga y el de la placa de prueba.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Método de la viga: las muestras deben ser generadas por la misma persona, los mismos equipos y el mismo procedimiento que el trabajo realizado en terreno. <p>El hormigón proyectado se debe aplicar en capas hasta formar un mínimo de espesor de 120 mm. Espesores de más de 170 mm debe ser cuidadosamente removidos.</p> <p>La muestra se debe dejar reposar durante al menos 12 horas, preferentemente 18 horas, antes de su transporte a una zona de almacenamiento adecuado, donde la temperatura debe ser 10 a 25 ° C.</p> <p>Tras la recepción en el laboratorio la temperatura de almacenamiento debe ser de 20 ± 4 ° C</p> <p>Al menos 4 días antes de la prueba, tres testigos de B x H x L = 125 x 75 x 550 mm mínimo deben ser cortados. Normalmente las pruebas se realizarán 28 días después de la pulverización.</p> <p>Las muestras deben ser sumergidas en agua hasta que comience la prueba</p> <p>El equipo de prueba consistirá en una máquina que aplica una carga y en el que la carga/deformación se registra mediante un plotter o en una cinta magnética para su posterior procesamiento.</p>

Tabla A.84 : NB, Pub N° 7, 1999 / Métodos de Ensayos

NB - Pub N° 7	Resistencia	<p>La resistencia media a la tracción y la flexión después de agrietamiento por tensión de flexión se deben calcular. Si alguna muestra se desvía en más del 40% los resultados de la viga son desechados.</p> <ul style="list-style-type: none"> •Método de la placa de prueba: La losa preparada debe ser almacenado en agua durante un mínimo de 3 días antes de la prueba y se debe mantener húmeda durante la prueba. <p>Como el método de ensayo es relativamente nuevo en Noruega, tres placas por cada serie se someterán a prueba para cada ensayo, las placas son circulares.</p> <p>Las placas deben ser dado las mismas condiciones de curado para el resto del hormigón proyectado.</p> <p>El espesor puede ser de hasta 100 mm y debe ser almacenada en el lugar durante 3 días.</p> <p>Se aplica la carga en una superficie de 100x100mm. La máquina de prueba será controlada y se registrara el desplazamiento con el fin de cargar la muestra a una velocidad constante.</p> <p>La energía absorbida correspondiente al área bajo la curva carga-deformación entre 0 y 25 mm de deflexión</p>
	Control de Unión	<p>Se deberá golpear con un martillos zonas al azar y esto debe ser informado, se debe realizar 1 golpe por cada 5 m²</p>
	Control de espesor	<p>El espesor se puede comprobar en 3 formas diferentes:</p> <ul style="list-style-type: none"> •La perforación de hormigón y la medición de profundidad de perforación del agujero. •Medición durante la perforación para pernos de anclaje. •Al colocar postes de acero en la capa de hormigón primero y la comprobación de que las capas posteriores están cubiertas

Tabla A.85 : NB, Pub N° 7, 1999 / Continuación de Métodos de Ensayos

A.11 CIA-AuSS, Recommended Practice Shotcreting, 2010

Comparación de Proceso de Hormigón Húmedo y Seco.		
Aspecto	Húmedo	Seco
Equipo	Menor costo de mantenimiento. Mayor costo de capital.	Mayor costo de mantenimiento. Menor costo de capital.
Mezcla	Una mezcla precisa de los materiales constituyentes. Se puede utilizar premezcla a granel. Agregados húmedos aceptables.	Mezclar en la obra, en la planta de proceso o utilizar premezcla. Rendimiento es afectado por agregados húmedos (máximo de 6% de contenido de humedad).
Salida	Moderada a alta tasa de colocación. Es superior a máquinas similares de mezcla seca. De 3 a 10 m ³ /h para boquilla de mano y hasta 25 m ³ /hr para equipos robotizados.	De baja a moderada tasa de colocación, entre 1 y 5 m ³ /hr.
Rebote	Rebote bajo, generalmente entre 5 y 15 %, dependiendo del diseño de la mezcla y aplicación.	Mayor rebote, hasta 30 %, dependiendo de las condiciones del sitio y el aplicador.
Polvo	Baja generación de polvo.	Mayor generación de polvo.
Calidad	Calidad constante.	Potencialmente mayor variabilidad.
Transporte a Través Manguera de Suministro	Transporte bajo, por ejemplo con líneas y mezclas especiales la distancia máxima es de 200 metros.	Transporte de alta distancia, por ejemplo con quipo especial la distancia máxima es de 500 metros.
Aplicaciones	Se adapta mejor a los volúmenes de aplicación altos.	Más adecuado para volúmenes de aplicación bajos y detener / iniciar operaciones. Adecuado para el control remoto y lugares de acceso limitado donde la dosificación y entrega de hormigón son difíciles.

Tabla A.86 : CIA-AuSS, RPS, 2010 / Comparación de Proceso de Hormigón Húmedo y Seco.

	Consideraciones para Diseño de Estructuras de Hormigón Proyectado	Descripción
CIA-AuSS	Diseño de Estabilidad	Debe considerarse la posibilidad de vuelco, levantamiento, pandeo, o deslizamiento de la estructura como un cuerpo rígido.
	Diseño para una Resistencia	El uso previsto de hormigón proyectado determinará los requisitos de desempeño que debe lograr, esto puede variar desde una función de apoyo estructural completo hasta usos tales como superficial, sellado de la capa o elemento arquitectónico/estética. La interacción entre el hormigón y las cargas y materiales que apoya es muy complejo, por lo que se han desarrollado métodos empíricos y analíticos para el diseño de la resistencia.
	Diseño para la funcionalidad	Debe satisfacer criterios de funcionalidad tales como límites de las desviaciones y los anchos de fisura. Otros criterios de la utilidad incluyen la estanqueidad, la deformación de fluencia, aspecto, el acabado superficial, y resistencia a la abrasión.
	Diseño para Resistencia al Fuego	Incluir requisitos establecidos en el Código de Construcción de Australia, o por el cliente, para una resistencia al fuego durante un período de tiempo mínimo. Este requisito normalmente toma la forma de resistencia a la pérdida crítica de fuerza, de funcionalidad o la transmisión de calor y / o humo.
	Diseño para la Durabilidad	Los requisitos de durabilidad para la matriz de hormigón están generalmente satisfechos por controlar el diseño de mezcla de concreto con medidas tales como la limitación del máximo w/c ratio o limitando el contenido total de aluminato de calcio dependiendo en las condiciones de exposición esperados.
	Diseño para otros Requisitos	Algunas aplicaciones pueden requerir una consideración de criterios diferentes a los incluidos en las categorías anteriores, como los requisitos operacionales y ambientales. Los ejemplos incluyen la lejanía del lugar, las horas de funcionamiento o las condiciones climáticas extremas.

Tabla A.87 : CIA-AuSS, RPS, 2010 / Consideraciones para Diseño de Estructuras de Hormigón Proyectado

CIA-AuSS	Aceleradores para Cemento y Hormigón Proyectado		
	Clase/ Categoría	Componente activo	Características
	Productos Químicos para Acelerar el Endurecimiento del Hormigón		
	Cloruro de calcio	CaCl ₂	Relativamente rápido, aumenta la contracción y promueve la corrosión del acero.
	Nitrato de Calcio	CaNO ₃	Seguro pero relativamente lento, aumenta la contracción.
	Trietanolamina	C ₆ H ₁₅ NO ₃	Seguro pero relativamente lento, aumenta la contracción.
	Productos Químicos para el Establecimiento Acelerado (para Hormigón Proyectado)		
	Hidróxidos	NaOH, KOH	Altamente cáustica, perjudicial para los ojos.
	Carbonatos	Na ₂ CO ₃ , K ₂ CO ₃	Altamente cáustica, perjudicial para los ojos.
	Aluminato de Sodio	NaAlO ₂	Cáustica, promueve la rigidez a través de la formación de gel.
Silicato de sodio	NaO•nSiO ₂	Altamente cáustico, dañino, promueve la rigidez a través de la formación de gel.	
Aluminato de Calcio	CaO-Al ₂ O ₃	No cáustica, ligeramente alcalino, seguro libre de álcali.	
Sulfato de aluminio	Al ₂ (SO ₄) ₃	No cáustica, ligeramente ácido, seguro libre de álcali.	

Tabla A.88 : CIA-AuSS, RPS, 2010 / Aceleradores para Cemento y Hormigón Proyectado

CIA-AuSS	Diseños Tipo de Mezcla Húmeda para Minería y Obras Civiles de Tunelería		
	Materiales Constitutivos	Diseño de Mezcla por/m ³	
		Minería	Túnel
	Grado de Fuerza (Mpa)	40	40
	Cemento (Kg)	440	420
	Cemento tipo	GP	SL
	Cenizas volantes (Kg)	Opcional	60
	Humo de sílice (Kg)	20	40
	Agregado de 10 mm (Kg)	500	450
	Arena gruesa (Kg)	680	780
	Arena fina (Kg)	500	380
	Agua total (Litro)	200	208
	Fibra de acero (Kg) O	30–40	40–60
	Macro-fibra sintética	5–8	9–10
	Reductor de Agua (Litro)	1	1
	Mezcla Superplastificante (Litro)	3	3
	Mezcla de control de hidratación (Litro)	2	1
	Asentamiento nominal (mm)	120–150	120–150
	Relación agua/cemento	0.40–0.48	0.38–0.45

Tabla A.89 : CIA-AuSS, RPS, 2010 / Diseños de Mezcla Húmeda para Minería y Obras Civiles de Tunelería

CIA-AuSS	Diseño Tipo de Mezcla Húmeda de Hormigón Proyectado	
	Materiales Constitutivos	Diseño de Mezcla/m3
	Cemento (Kg)	335
	Cenizas volantes (Kg)	85
	Agregado grueso de 10 mm (Kg)	610
	Arena gruesa (Kg)	585
	Arena fina (Kg)	530
	Reductor de agua (Litro)	1.6
	Superplastificante (Litro) 1.0	1.0
	Agente incorporador de aire(Litro)	0.1
	Agua (Litro)	200
	Asentamiento (mm)	60

Tabla A.90 : CIA-AuSS, RPS, 2010 / Diseño de Mezcla Húmeda de Hormigón Proyectado

Diseño de Mezcla Seca de Hormigón Proyectado	
Materiales constitutivos	Diseño de mezcla/m3
Grado de fuerza (MPa)	40
Cemento(Kg)	420
Humo de sílice (Kg)	50
Agregado de 7 mm (Kg)	350
Arena gruesa (Kg)	755
Arena fina (Kg)	625
Fibra de acero (Kg) O	30–40 ó
Macro-fibra sintética	5–8
Acelerador (Litro)	20 (como se requiera)
Superplastificante (Litro)	Nil
Agente reductor de agua (Litro) Nil	Nil
Agente incorporador de aire(Litro)	Nil
Agua (Litro)	150–200 (controlado en la boquilla)

Tabla A.91 : CIA-AuSS, RPS, 2010 / Diseño de Mezcla Seca de Hormigón Proyectado

Plan Básico de Gestión para el Desarrollo del Proceso de Proyección			
Parámetro	Prueba del parámetro	Comentarios	
CIA-AuSS	Pre-proyección de Hormigón	Composición de la mezcla	Predeterminado por la base de mezcla aprobada.
		Clasificación	Tamizaje.
		Producción de hormigón	La coherencia y la uniformidad son esenciales
		Los niveles de existencias	Reserva de estabilización esencial.
		Las condiciones de almacenamiento	Almacenar de acuerdo con las recomendaciones de los proveedores.
		Condición del equipo	Mantenimiento preventivo e inspecciones diarias.
		Servicios (electricidad, agua, iluminación)	Debe ser revisado cada turno.
		Seguridad	Siempre se debe realizar la evaluación de riesgos y procedimientos de trabajo seguros.
CIA-AuSS	Durante y Después de la Proyección de Hormigón	Condición del sustrato	Debe ser revisado y preparado con un estándar adecuado.
		Nivel del acelerador	Establecer base a las condiciones y límites especificados.
		Resistencia inicial	Los requisitos mínimos de resistencia se deben comprobar antes de volver a proyectar
		Espesor	Medidores de espesor o sondas de perforación.
		Rebote	Con frecuencia controlado por el operador.
		Acabado superficial	Inspección visual.
		Curado	Monitorear los cambios en las condiciones ambientales.
		Muestras de ensayo	Utilice instalaciones acreditadas.
CIA-AuSS	Días Después de la Proyección de Hormigón	Seguridad	Siempre se debe realizar la evaluación de riesgos y procedimientos de trabajo seguros.
		Adhesión	Llevar a cabo sondeos para verificar una correcta unión.
		Eficacia de apoyo en tierra	Monitorear la estabilidad del terreno.

Tabla A.92 : CIA-AuSS, RPS, 2010 / Plan Básico de Gestión para el Desarrollo del Proceso de Proyección

A.12 ACI 506.4R-94, Reapproved 2004, Guide for the Evaluation of Shotcrete

Resistencia		Descripción	
ACI-GES	Generalidades	La resistencia es ampliamente utilizada para evaluar la calidad del hormigón. Si bien es posible determinar la resistencia a compresión y flexión, es la resistencia a la compresión la más utilizada. Muchos de los métodos de muestreo utilizados para el hormigón convencional son utilizados también para el hormigón proyectado, y pueden ser clasificados en destructivos y no destructivos.	
	Ensayos Destructivos	Obtención de Muestras de Núcleos	<p>Las muestras son obtenidas principalmente de hormigón endurecido por los núcleos de perforación. Además de proporcionar muestras para ensayos de resistencia, los núcleos perforados ofrecen una excelente oportunidad para examinar visualmente el hormigón proyectado, los refuerzos, la profundidad, integración de con la superficie, vetas de arena, y otras fallas. Muchas veces no es posible obtener las muestras de los núcleos del hormigón in-situ, debido a ya que la estructura puede estar dañada. El diámetro del núcleo nominal no debe ser inferior a 2 pulgadas (50 mm), pero 3 pulgadas (75 mm) es el diámetro preferido. Se recomienda que un experto interprete los datos, se debe considerar lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El daño en las muestras, grietas pueden invalidar los resultados. • Cada 1 % de volumen de huecos de hormigón, se reducirá aproximadamente la resistencia en un 5 %. • Es muy conveniente que los núcleos no contengan barras de refuerzo,
		Prueba de Núcleos Perforados	<p>Generalmente las muestras se perforan una vez que el hormigón esta endurecido con el fin de evaluar la calidad del hormigón proyectado en el lugar. Numerosos factores pueden afectar la resistencia , como el diámetro del núcleo, su relación altura-diámetro, la dirección de la extracción de los testigos en relación con la colocación del hormigón proyectado, el curado, la humedad de los testigos antes de realizarle las pruebas, el agregado máximo y la presencia de refuerzos en los núcleos.</p>

Tabla A.93 : ACI 506.4R-94, R2004 / Resistencia

ACI-GES	Ensayos no Destructivos	Métodos de Rebote y Hendidura	<p>Ambos métodos miden la dureza relativa de las capas superficiales, ambos métodos son conocidos y utilizados pero son de naturaleza empírica y se deben tomar algunas precauciones para obtener resultados significativos. Los resultados solo dan una estimación de la resistencia del hormigón proyectado y solo el hormigón que está cerca de la superficie.</p> <p>El martillo de rebote Schmidt es el aparato más utilizado para medir la dureza del hormigón por el principio de rebote. Los resultados del martillo de rebote se ven afectados por la textura, el grado de carbonatación, la condición de humedad de la superficie de hormigón, el espesor, la edad de la estructura de hormigón y el tipo de agregado grueso. Esta prueba no puede considerarse como un sustituto para las pruebas de resistencia a la compresión de los núcleos, sin embargo, se puede utilizar para localizar las áreas no uniforme dentro de una estructura de hormigón proyectado o para comparar la fuerza relativa de un hormigón proyectado con otro.</p>
		Ensayo de Penetración	Este método mide la dureza de la superficie de hormigón y lo relaciona con la las propiedades de la resistencia a profundidades mayores que el martillo.
		Otros	El lugar de extracción de pruebas se han desarrollado las pruebas de resistencia del hormigón o de hormigón proyectado.

Tabla A.94 : ACI 506.4R-94, R2004 / Continuación de Resistencia

Determinación de Vacíos y Uniones		Descripción
Generalidades		Trata sobre las técnicas, herramientas, y las pruebas actualmente disponibles para detectar la falta de unión a la superficie subyacente y los huecos en hormigón proyectado
Sondeo	Martillo	Se golpea la superficie terminada con un martillo, el operador escucha el sonido. El sonido de timbre es indicador de que está ok, un sonido de hueco indica la falta de adherencia entre capas de hormigón proyectado y entre el hormigón y la superficie. Grandes vacíos también pueden ser detectados con el martillo.
	Cadena de Arrastre	Se arrastran cadenas sobre el hormigón proyectado, el cambio de sonido indicará huecos e imperfecciones.
Tensión Directa (Enlace de Tracción)		Para llevar a cabo los ensayos de tracción de uniones, se utiliza un taladro generalmente de 50 mm de diámetro se utiliza para perforar, a la parte superior del núcleo se incorpora un disco de acero con una solución epóxica. Se aplica una tensión sobre la placa de acero, se mide la carga de falla, se divide por el área y eso entrega una fuerza de unión.
Métodos Sónicos		Si el pulso es mecánico, como por el impacto, estos métodos se llaman sónicos. Los métodos sónicos han demostrado ser útiles para la inspección de estructuras de hormigón. Dependiendo de la técnica que se utiliza, los métodos sónicos pueden utilizarse para proporcionar información sobre la uniformidad del concreto (hormigón proyectado o) en la estructura o para localizar defectos ocultos. Existen 2 tipos de métodos sónicos, de transmisión y eco.
Métodos Radar		Si el pulso es electromagnético, el método es conocido como de radar. Un transmisor envía un pulso y un receptor recibe la señal, el tiempo de ida y vuelta además del conocimiento de la velocidad permiten determinar la distancia al reflector. Dependiendo de la onda se podrá determinar si existen vacíos, o el hormigón proyectado se encuentra en buen estado.
Termografía Infrarroja		Si hay un flujo de calor en un objeto y se detecta una conductividad térmica diferente en el material, este se verá reflejado en la superficie y por ende se determinará donde existen imperfecciones.

Tabla A.95 : ACI 506.4R-94, R2004 / Determinación de Vacíos y Uniones

	Densidad	Descripción
ACI-GES	Generalidades	La aplicación de hormigón proyectado puede causar variaciones en la homogeneidad que en general no ocurren en el hormigón convencional como marcas de arena o estrías, zonas porosas. La densidad en el lugar del hormigón es importante para determinar la calidad y durabilidad, para medir la densidad se hacen con ensayos a muestras, estas deben ser cubos de 75 mm o núcleos de 100 mm de diámetro.

Tabla A.96 : ACI 506.4R-94, R2004 / Densidad

	Permeabilidad	Descripción
ACI-GES	Generalidades	La permeabilidad del hormigón proyectado es reconocida como un componente crítico en la durabilidad y en la protección de los refuerzos de acero. Para medir la permeabilidad se realizan pruebas como las de permeabilidad de laboratorio bajo presión hidrostática, permeabilidad de cloruro, permeabilidad en el lugar.

Tabla A.97 : ACI 506.4R-94, R2004 / Permeabilidad

A.13 NCh1998.0f1989, Hormigón - Evaluación Estadística de la Resistencia Mecánica

	Procedimientos	Descripción
NCh 1998	Plan de Muestreo	<ul style="list-style-type: none"> •El plan de muestreo debe quedar establecido en la norma de diseño o en la especificación técnica de la obra (anexo C de la referencian [15]). •Si el plan de muestreo no está especificado se debe usar la tabla 1 de la referencia [15], muestra un plan de muestreo mínimo para el hormigón fresco. •Si se ha establecido la necesidad de un muestreo para hormigón endurecido y no se especifica cómo hacerlo, se debe seguir la tabla 2 de la referencia [15].
	Evaluación de los Resultados de la Resistencia Mecánica	<p>Esta norma entrega 2 métodos, uno por grupos de muestras consecutivas (>10) y el otro por el total de las muestras. Si no se especifica cual utilizar se deberá adoptar el primer método.</p> <ul style="list-style-type: none"> •Evaluación por medio de grupos de muestras consecutivas: Si se cumple que $f_3 \geq f_c + k_1$ y $f_i \geq f_0 = f_c - k_2$ en cada lote de hormigón, entonces se considerará que la resistencia es satisfactoria. •Evaluación considerando el total de las muestras: Si se cumple que $f_m \geq f_c + s \cdot t$ y $f_i \geq f_0 = f_c - k_2$ se considerara que la resistencia es satisfactoria.
	Evaluación del Nivel de Control de Ensayos	Se realiza si se tiene por lo menos 10 muestras diferentes, y de cada una de ellas al menos ensayos de 2 probetas cada una. Si se cumple esto se calculará el coeficiente de variación del ensayo V1 y se comparará con los que entrega la tabla 6 de la referencia [15] y se calificará el nivel de control. Se puede evaluar para el caso de sub-lotes, no menos que 10 muestras consecutivas.
	Incumplimiento	En el caso de que no se cumple los requisitos, se tomarán medidas que deberán estar establecidas en las especificaciones técnicas de la obra y de no ser así, se debe seguir las recomendaciones del anexo A de la referencia [15].
	Informe	Se deberá entregar un informe que contenga al menos la identificación del lote, procedimiento de evaluación completo, número total de muestras, resultados, calificación y cualquier otra información relacionada.

Tabla A.98 : NCh1998.Of1989 / Procedimientos

Donde f_3 = resistencia media de las 3 muestras consecutivas correspondientes a cada parcialidad del lote de hormigón, en MPa.

f_c = resistencia especificada a la rotura por compresión, en MPa.

f_m = resistencia media del lote, en MPa.

f_i = resistencia individual de cada muestra, MPa.

f_0 = límite inferior para la resistencia f_i de cada muestra, en MPa.

s = desviación normal de la resistencia individuales f_i , en MPa.

t = factor estadístico (ver tabla 4 de la referencia [15]).

k_1 y k_2 = constante de evaluación (ver tabla 3 de la referencia [15]).

A.14 NCh1171/1.Of2001, Hormigón - Testigos de hormigón endurecido - Parte 1: Extracción y Ensayo

	Extracción	Descripción
NCh 1171/1	Dimensión de los Testigos	<p>Los testigos son cilíndricos, los cuales se diferencian en:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Testigos para medición de espesores: El diámetro debe ser mayor o igual a 5 cm, en el caso de pavimentos debe ser mínimo 10 cm. • Testigos para ensayos de resistencia: El diámetro de cada testigo debe ser mayor o igual al tamaño máximo nominal del árido grueso, deben tener una altura original tal que se pueda obtener una esbeltez entre 1,0 y 2,0.
	Cantidad de Testigos	Es especificada por el proyectista o por la especificación técnica, en ausencia de esto se aplica lo establecido por la referencia [15].
	Condiciones Mínimas para la Extracción	La extracción se debe realizar cuando este proceso no afecte ni a la estructura ni al personal, y se cumpla que los resultados de la resistencia de compresión cúbica sea mayor o igual a 10 Mpa o edad mayor o igual a 14 días.
	Zona de Extracción de Testigos	Cada testigo debe ser extraído de una zona adecuada para que sea representativo, las distancias entre ellos es de acuerdo al objetivo de estudio y la ubicación debe considerar los elementos estructurales, condiciones de borde, etc.
	Distancia entre los Testigos	Un testigo adyacente a un elemento estructural debe estar separado en más de 2 diámetros entre sí
	Procedimiento de Extracción	<ul style="list-style-type: none"> • El método de extracción no debe dañar ni producir grietas, además se debe realizar de acuerdo a las especificaciones del fabricante del equipo. • Por taladro: Es el preferido el cual es por taladro con sonda rotatoria, el eje longitudinal de la sonda debe ser perpendicular a la zona de extracción. • Marcado e identificación: Una vez extraídos los ensayos se deben marcar sin dañar sus propiedades.

Tabla A.99 : NCh1171/1.Of2001 / Extracción

NCh 1171/1	Informe de Extracción	El encargado debe informar si existió alguna anomalía durante el proceso de extracción o si existe características visibles importantes del lugar del testigo.
	Transporte al Laboratorio	Deben ser protegidos de daños físicos, golpes, roturas de aristas, etc., además deben ser llevados inmediatamente al laboratorio en condiciones similares al lugar de la extracción.

Tabla A.100 : NCh1171/1.Of2001 / Continuación de Extracción

NCh 1171/1	Preparación del Testigo para Ensayos	Descripción
	Inspección Previa a la preparación	Se debe realizar una inspección visual de los posibles daños que puedan afectar las propiedades mecánicas del hormigón. El testigo dañado en la extracción no debe ser sometido a ensayos y se debe informar de esto.
	Preparación para la determinación de la Altura Original	Inmediatamente la llegada al laboratorio se debe limpiar las caras extremas de materiales extremos y efectuar, al menos, 5 medidas de alturas axiales.
	Preparación para Ensayo de Densidad	El ensayo se debe realizar inmediatamente después de cortadas o rectificadas las caras del testigo.
	Preparación para Ensayos de Compresión	<ul style="list-style-type: none"> • No se pueden someter a ensayos los testigos que tengan armaduras paralelas o inclinadas con respecto al eje de cargas, además se debe tratar de evitar la presencia de armaduras u otros elementos en el testigo. • Se deben cortar los extremos de cada testigo cumpliendo con la planeada con resaltes menores a 1 mm, la desviación de cada cara c/respecto al eje no debe ser inferior a 0,5 °, los diámetros no deben diferir más de 2,5% respecto al diámetro medio, eliminar armaduras u otros elementos de los extremos y cumplir con la esbeltez.
	Preparación para ensayos de resistencia a Hendimiento	No se someterá a este ensayos los testigos que contengan armadura u otro elemento, en que alguno de sus diámetros se aleje del 0,2% del diámetro medio y los que tengan resaltes o depresiones mayores a 2,5 mm.
	Refrentado	La línea de contacto entre el testigo y la placa de cargas no debe tener resaltes mayores a los 2,5 mm.

Tabla A.101 : NCh1171/1.Of2001 / Preparación del Testigo para Ensayos

	Ensayos e Informe	Descripción
NCh 1171/1	Determinación del Espesor	Se determina tomando el promedio de 5 alturas axiales del testigo.
	Determinación de la Densidad	Inmediatamente cortadas las caras se debe sumergir en agua por 1 h ± 10 min Se debe mazar el testigo inmediatamente retirado de la inmersión además de mazarlo sumergido, la densidad se debe corregir descontando las posibles barras incluidas en el testigo.
	Determinación de la Resistencia Mecánica	Si el hormigón de la estructura esta en ambiente seco se debe dejar en el laboratorio 7 días antes de ensayarlo, si el hormigón está en condiciones húmedas se debe sumergir durante 40 h y se debe ensayar húmedo.
	Informe	El informe llevara, a lo menos, identificación de la obra, identificación detallada de la estructura, fecha de colocación del hormigón y de extracción de testigos, número de testigos, condiciones de conservación de los testigos, resultados, y cualquier otra información referida a la extracción.

Tabla A.102 : NCh1171/1.Of2001 / Ensayos e Informe

A.15 NCh 1171/2.Of2001, Hormigón - Testigos de hormigón endurecido - Parte 2: Evaluación de resultados de resistencia mecánica

	Procedimientos	Descripción
NCh 1171/2	Evaluación de Resultados de Compresión de Testigos	Con el fin de evaluación, se deben ensayar por lo menos 3 testigos y si se cumple que $R_{pm}^3 > 0,85 f_{cil}^4$ y que $R_{pi}^5 = 0,75 f_{cil}$ se acepta el hormigón.
	Recepción de Hormigón Mediante Testigos	Cuando la especificación técnica establezca la recepción de elementos de hormigón fabricados en obra, se debe tener en cuenta que la resistencia de cada testigo corresponde a la resistencia real.
	Evaluación de Resultados a Hendimiento de Testigos	Cuando se desee evaluar un hormigón mediante testigos como consecuencia de un incumplimiento del criterio de evaluación de resistencia a hendimiento de probeta, la especificación técnica debe establecer el criterio de evaluación.
	Rechazo del Hormigón	Cuando no se cumpla la aceptación del hormigón, el encargado debe decidir las acciones a seguir.
	Informe	Se debe realizar un informe que detalle al menos la obra y fecha de ensayo, resultado de criterio de evaluación, cualquier otro documento relativo a los testigos o evaluación.

Tabla A.103 : NCh1171/2.Of2001 / Procedimientos

³ R_{pm} = Promedio aritmético de los resultados de resistencia de los testigos que conforman un lote a evaluar, MPa.

⁴ f_{cil} = Resistencia a compresión especificada en el proyecto, expresada en probeta cilíndrica, MPa.

⁵ R_{pi} = Resultado de resistencia del testigo a la edad de ensayo, expresada en probeta cilíndrica, MPa.

A.16 EFNARC, European Specification for Sprayed Concrete, Checklist for Specifiers and Contractors, 2002

Estas listas de comprobación para los proyectistas y contratistas, es requerida por ambos y está destinada a complementar los documentos del proyecto, en todo el proceso desde la selección de materiales, hasta la operación del rociado en un formato de fácil lectura.

Debería ser un documento que se use por todos, comenzando en la oficina y que pase por todos los trabajos en terreno.

Esta lista procura incluir todos los aspectos esenciales, pero si hay exigencias especiales por el tipo de trabajo a realizar, deben agregarse.

El uso de esta lista de chequeo es fuertemente recomendado a fin de asegurar que los elementos no sean pasados por alto y así facilitar una correcta operación y una eficaz aplicación de hormigón proyectado.

ANEXO B

GLOSARIO DE TÉRMINOS

B.1 Glosario de Términos

A continuación, se nombran algunos términos y definiciones que se encuentran presente en la bibliografía estudiada.

- Adición : Material finamente dividido utilizado en el hormigón con el fin de mejorar ciertas propiedades o conferirle propiedades especiales.
- Aditivos para la mezcla básica : Material incorporado en el momento del amasado del hormigón en una cantidad no mayor del 5% en masa, con relación al contenido de cemento en el hormigón, con objeto de modificar las propiedades de la mezcla en estado fresco y/o endurecido.
- Árido : Material granular utilizado en la construcción. Los áridos pueden ser naturales, artificiales o reciclados.
- Boquilla o Proyector : Término general utilizado para el dispositivo situado al final de la línea de transporte, a través de la cual se descarga la mezcla. Consiste en un dispositivo de mezcla, en el cual, dependiendo del proceso, el agua, aire comprimido y/o los aditivos se inyectan en el flujo de la mezcla básica.
- Capacidad de Absorción de Energía : Energía, en Joules, absorbida cuando se carga una placa reforzada con fibras.
- Cemento : Un material inorgánico finamente molido que después de haber sido mezclado con agua forma una pasta que fragua y endurece por reacciones y procesos de hidratación, y que, después de endurecer, conserva su resistencia y estabilidad incluso bajo el agua.
- Contratista : Persona o corporación con la cual el dueño firma un acuerdo para la construcción del trabajo.
- Curado : Mantener el hormigón o el mortero a una temperatura y humedad adecuada para asegurar su hidratación y endurecimiento adecuado.

Documentos de Contrato	:	Documentos que cubren el trabajo requerido e incluso los dibujos de proyecto y especificaciones de proyecto.
Dueño	:	Corporación, asociación, sociedad, individuo, o cuerpo público o autoridades con quien el contratista firma el acuerdo y para quien el trabajo es proporcionado.
Fibras de Acero	:	Elementos rectos y deformados de alambres de acero estirado en frío, recortes de fibras de acero rectas o deformadas, fibras extraídas fundidas, fibras estiradas en frío y fibras molidas de bloques de acero que son adecuados para su mezcla homogénea con hormigón o mortero.
Fibras de Polipropileno	:	Elementos rectos o deformados de material extruido, orientado y cortado, apropiados para su mezcla homogénea con hormigón o mortero, y que no se ven afectados con el tiempo por el alto pH del hormigón.
Hormigón Proyectado		Mezcla de cemento, áridos y agua que se proyecta en forma neumática desde una boquilla hacia su lugar de colocación para producir una masa densa y homogénea. El hormigón o mortero proyectado normalmente incorpora aditivos; también puede incluir adiciones, fibras o una combinación de ambas.
Hormigón Proyectado Fresco	:	Hormigón antes del fraguado.
Hormigón Proyectado Joven	:	Hormigón proyectado hasta una edad de 24 h.
Hormigón Proyectado Reforzado con Fibra	:	Hormigón proyectado, incluyendo las fibras de refuerzo para mejorar ciertas propiedades del hormigón.
Hormigón Rechazado	:	Parte del material que, habiendo sido proyectado por la boquilla, no se adhiere a la superficie de aplicación.

- Mezcla Básica : Mezcla de cemento, áridos y cualquier otro constituyente incorporado en la máquina de proyección, excluyendo cualquier componente añadido en la boquilla. La mezcla básica puede ser seca o húmeda. La mezcla básica puede contener también adiciones y aditivos varios, además de Fibras
- Mezcla Húmeda : Mezcla básica para utilizar en los procesos en húmedo.
- Resistencia a Flexión Primer Pico : Resistencia en el primer pico de carga determinado que resiste el hormigón reforzado con fibras cuando se somete a un ensayo de flexión.
- Resistencia a Flexión Última : Resistencia correspondiente a la carga máxima que el hormigón reforzado, o no, con fibras puede resistir cuando se somete a un ensayo de flexión.
- Resistencia a Temprana Edad : Resistencia desarrollada por el hormigón proyectado con menos de 24 horas de edad luego de aplicado.
- Resistencia Potencial : Resistencia de una muestra de hormigón extraída según Nch171, confeccionada según Nch1017, ensayada según Nch1037 y expresada como resistencia a los 28 días, cuyas condiciones de curado, edad y grado de compactación están normalizadas según Nch170, siendo diferentes de las aplicadas en obra.
- Resistencia Real : Resistencia de un testigo de hormigón extraído de un elemento y ensayado según Nch1171/1 y expresado como resistencia según Nch170, que corresponde a una estimación de la resistencia del hormigón en el lugar de extracción sin corregir por efecto del curado, la edad o el grado de compactación.
- Resistencia Residual : Resistencia calculada en el hormigón reforzado con fibras correspondiente a una carga en la curva de carga-deformación registrada durante el ensayo de flexión.