

1. INTRODUCCION	3
1.1. General.....	3
1.2. Productos RENOLIT	3
1.3. Requisitos de los materiales de impermeabilización	3
1.3.1. Estanqueidad	3
1.3.2. Flexibilidad	3
1.3.3. Resistencia química.....	4
2. GEOMEMBRANAS RENOLIT.....	4
2.1. Geomembranas RENOLIT ALKORPLAN.....	4
2.1.1. Referencias de la Geomembrana RENOLIT ALKORPLAN	4
2.1.2. Propiedades	4
2.1.3. Características	5
2.2. Geomembranas RENOLIT ALKORTOP.....	5
2.2.1. Referencias de geomembranas RENOLIT ALKORTOP	5
2.2.2. Propiedades	5
2.2.3. Características	5
2.3. Accesorios	5
2.4. Producción RENOLIT	6
2.5. Geomembrana recomendada	6
3. SISTEMA DE IMPERMEABILIZACIÓN	7
3.1. Componentes	7
3.2. Soporte.....	8
4. INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE IMPERMEABILIZACION EN TUNELES.....	9
4.1. Instalación de los geotextiles	9
4.2. Instalación de la Geomembrana	9
4.3. Water stops.....	9
4.4. Conexión de la bóveda	11
4.5. Protección del sistema de impermeabilización de la losa inferior.....	11
4.6. Losa de Hormigón.....	12
5. INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE ESTANQUEIDAD A LA BOVEDA DEL TUNEL	12
5.1. ANDAMIOS.....	12
5.2. Instalación del Geotextil	14
5.3. Fijación de arandelas circulares.....	14
5.4. Instalación de la Geomembrana	15
5.5. Water stops.....	16
5.6. Tuberías de inyección	16
5.7. Instalación de barras de refuerzo / Anclajes	18
5.8. Tira de refuerzo	17
5.9. Hormigón para la bóveda	iError! Marcador no definido.
6. MATERIAL.....	19
6.1. Geomembrana	19

6.1.1.	Sistema con signal layer (capa señalizadora).....	20
6.1.2.	Sistema translúcido.....	20
6.1.3.	Resistencia de la membrana de PVC-P RENOLIT ALKORPLAN bajo presión	21
6.2.	Geotextil	22
6.2.1.	Producto	22
6.2.2.	Datos técnicos	22
6.3.	Water stops	23
6.3.1.	Water stop para las juntas de dilatación	23
6.3.2.	Water stop para juntas normales	23
6.4.	Dispositivos de inyección	23
6.4.1.	Tubería de inyección	24
6.4.2.	Tubo de inyección.....	25
6.5.	Andamios	26
6.5.1.	Andamio simple	26
6.5.2.	Andamio hidráulico	26
6.6.	Herramientas de soldadura	26
6.6.1.	Maquina de soldar de cuña caliente.....	26
6.6.2.	Maquina automática de soldadura de aire caliente	27
6.6.3.	Soldador manual.....	27
7.	CONTROL Y PRUEBA DE LA IMPERMEABILIDAD	28
7.1.	Control de la doble soldadura a través de la presión del aire	28
7.2.	Control de soldadura manual	29
8.	CONCLUSION	29

1. INTRODUCCION

1.1. General

El uso de membranas de PVC-P como impermeabilización de túneles bajo la presión del agua es una tecnología sofisticada y segura para proteger la construcción de las influencias destructivas del agua.

Dependiendo de la apariencia del agua (humedad, presión temporal de agua, presión de agua permanente) el sistema de impermeabilización deberá adaptarse. Esto se expresa en el espesor de la geomembrana y en un sistema de control y reparación. Bajo la influencia de la presión de agua permanente se debería usar un espesor mínimo de lámina de 2,0 mm.

Esta descripción técnica explica el uso de membranas RENOLIT para la impermeabilización de túneles.

1.2. Productos RENOLIT

RENOLIT ofrece una amplia gama de láminas de plástico adecuadas para llevar a cabo la impermeabilización de los túneles:

- o RENOLIT ALKORPLAN PVC-P (geomembranas)
- o RENOLIT ALKORTOP PP (geomembranas)

1.3. Requisitos de los materiales de impermeabilización

La calidad de impermeabilización depende de:

- o Elección de la geomembrana
- o Sistema de impermeabilización, incluyendo la preparación del terreno
- o Como se lleva a cabo el trabajo (terreno, drenaje, sistema de impermeabilización, protección).

1.3.1. Estanqueidad

La estanqueidad del agua depende de la definición de la membrana (grupo de productos, espesores) con el fin de ser capaz de resistir todas las influencias (por ejemplo, presión, condiciones del terreno, etc)

1.3.2. Flexibilidad

Este punto ha de tenerse en cuenta durante el proyecto. Dependiendo de la forma, los ángulos y los asentamientos de la construcción, se elegirá el tipo de membrana.

1.3.3. Resistencia química

Contaminación del suelo y de las aguas subterráneas.

2. GEOMEMBRANAS RENOLIT

2.1. Geomembranas RENOLIT ALKORPLAN

El tipo RENOLIT ALKORPLAN representa todas las geomembranas de PVC-P flexibles, homogéneas y reforzadas.

2.1.1. Referencias de la Geomembrana RENOLIT ALKORPLAN

- 35041, geomembrana no-reforzada, opaca, gris oscuro con una capa delgada señalizadora en color amarilla (bi-color) para prevenir de cualquier daño mecánico.
Conforme a las especificaciones SIA V280, RVS 8T, DS 853, HEFT 365.
- 35034, geomembrana no-reforzada, opaca, verde claro (de un solo color).
Conforme a las especificaciones RVS 8T, HEFT 365;
- 35036, geomembrana no-reforzada, translúcida (>70%).
Conforme las especificaciones capítulo 67 título III CETE Lyon, NEAT ;
- 35020, capa protectora de PVC-P no-reforzada
Conforme a las especificaciones capítulo 67 título III CETE Lyon.
- 35038, geomembrana no-reforzada, opaca, gris oscuro, resistente contra las influencias temporales de hidrocarburos; se puede aplicar directamente en contacto con el betún.

Las geomembranas mencionadas anteriormente también se pueden producir:

- Reforzadas (malla de poliéster o fibras de vidrio).
- Geotextil doblado con PES (poliéster) o PP (polipropileno).

Las características mecánicas pueden cambiar debido al refuerzo y/o al doblado del geotextil.

2.1.2. Propiedades

RENOLIT ALKORPLAN, son membranas de PVC-P flexibles, fabricadas por calandrado o extrusionado, enrolladas, con un ancho de 2,05m.

- Después de la elongación bajo tensión, el PVC-P es capaz de relajarse y adaptarse al suelo
- Elevado rendimiento sobre la deformación bi-direccional debido a su elasticidad (>170%).
- Elevada resistencia a la perforación hidrostática (>950 kPa/mm).
- Excelente resistencia al punzonamiento.

- Resistente a los productos químicos como son las bases de los ácidos y las sales, contra el envejecimiento y contra las influencias ambientales
- Resistente al contacto permanente con niveles de pH entre 2 y 10.
- Membranas que sin la protección de los UV pueden resistir un mes en exposición directa a los mismos sin perder sus características mecánicas.
- Excelente capacidad de soldadura tanto con soldador manual de aire caliente (tipo Triac) como con máquina automática (cuña caliente y / o aire caliente), incluso después de años de uso, conservando un elevado rango de temperatura y velocidad.
- Dilatación térmica limitada: $1.5 \cdot 10^{-4}$ cm/cm/°C

2.1.3. Características

Consulte las fichas técnicas.

2.2. Geomembranas RENOLIT ALKORTOP

Este tipo de geomembrana está hecha de polipropileno flexible.

2.2.1. Referencias de geomembranas RENOLIT ALKORTOP

- 35080, geomembrana homogénea, gris, 2.05 m de ancho.

2.2.2. Propiedades

Geomembranas hechas de polipropileno flexible (FPP), homogéneas o reforzadas.

- FPP es menos flexible que PVC-P
- Se observa un límite de elasticidad después de la elongación en algunos de los materiales (+ -40%).
- Las geomembranas homogéneas muestran un buen rendimiento sobre la deformación bi-direccional debido a su relativa flexibilidad, especialmente a bajas temperaturas.
- Buena resistencia química.
- Resistencia media al punzonamiento hidráulico (600 kPa/mm).
- FPP se puede soldar con aire caliente, mediante máquinas automáticas de cuña caliente o también con soldador manual de aire caliente, con un estrecho margen de temperatura.

2.2.3. Características

Consulte las fichas técnicas.

2.3. Accesorios

Las geomembranas son la parte más importante de un sistema de

impermeabilización. Para que funcione de forma correcta los diferentes accesorios complementan todo el sistema. Todos los accesorios tienen que ser compatibles con la geomembrana utilizada.

Los siguientes accesorios son parte de este sistema:

- Capa protectora (laminas, geotextil, etc)
- Elementos de fijación (chapa colaminada, water stop, placas de metal inoxidable, anclajes, etc)
- Dispositivos de comportamiento e inyección para poder controlar y reparar la impermeabilidad después de aplicar el hormigón (water stops, tuberías de inyección,...)

2.4. Producción RENOLIT

El proceso completo de producción, incluyendo la gestión y la compra de materias primas tiene que ajustarse a las exigencias de la ISO 9001.

El control de la producción se inicia con el suministro de materias primas, pasando por el laboratorio, por el responsable de la mezcla del compuesto, por producción, por el departamento de logística, y también por el de departamento de administración.

Después de pasar por la unidad de mezcla y fusión, el compuesto se transporta hasta la calandra o a la unidad de extrusión. En el primer caso (calandra) se pasa por numerosos tambores, y la membrana final será vigilada por varios dispositivos electrónicos los cuales controlaran, el espesor, el calor y la velocidad, a continuación se extrae el producto y se enrolla.

La geomembrana opaca señalizadora (35041) se fabrica en la maquina de extrusión/laminación donde la capa fina (señalizadora) se lamina sobre una membrana de color gris oscuro. El calor y la presión exacta es importante para recibir un laminado perfecto entre las 2 capas de membranas.

2.5. Geomembrana recomendada

El grupo RENOLIT tiene diferentes tipos de geomembranas, es decir que para cada aplicación existe el producto adecuado. Las membranas de túneles pueden ser de PVC-P y TPO, que se puede laminar con un geotextil de PP para las aplicaciones de pegado.

Las excelentes características mecánicas (alargamiento sin tener un límite de elasticidad) y la buena capacidad de soldadura de las membranas de PVC-P lo convierten en uno de los mejores materiales de impermeabilización, estando su

durabilidad en concordancia con el periodo de vida para la obra en cuestión:
RENOLIT ALKORPLAN 35034-35036-35041..

El sistema de impermeabilización con la geomembrana **RENOLIT** ALKORPLAN ofrece una máxima de seguridad frente a los asentamientos y al riesgo de perforación debido a la armadura del hormigón. Además, dispone de un sistema de reparación para sanear la geomembrana en caso de escape sin tener que perforar la losa del hormigón.

3. SISTEMA DE IMPERMEABILIZACIÓN

3.1. Componentes

La impermeabilización de un túnel se realiza como si se tratase de un sistema independiente. En el caso de fuga, el agua es capaz de penetrar entre la geomembrana y la capa de hormigón, y buscará el punto más débil de la estructura de hormigón para salir al exterior; que será en líneas generales por la junta entre los dos bloques de hormigón.

A raíz de la compleja tarea de la impermeabilización, en general las fugas no se pueden excluir. Por lo tanto, tiene sentido plantearse el sistema de impermeabilización de tal manera que una reparación sea posible después de terminar la construcción sin dañar el sistema de impermeabilización.

Esto se puede hacer mediante dos métodos:

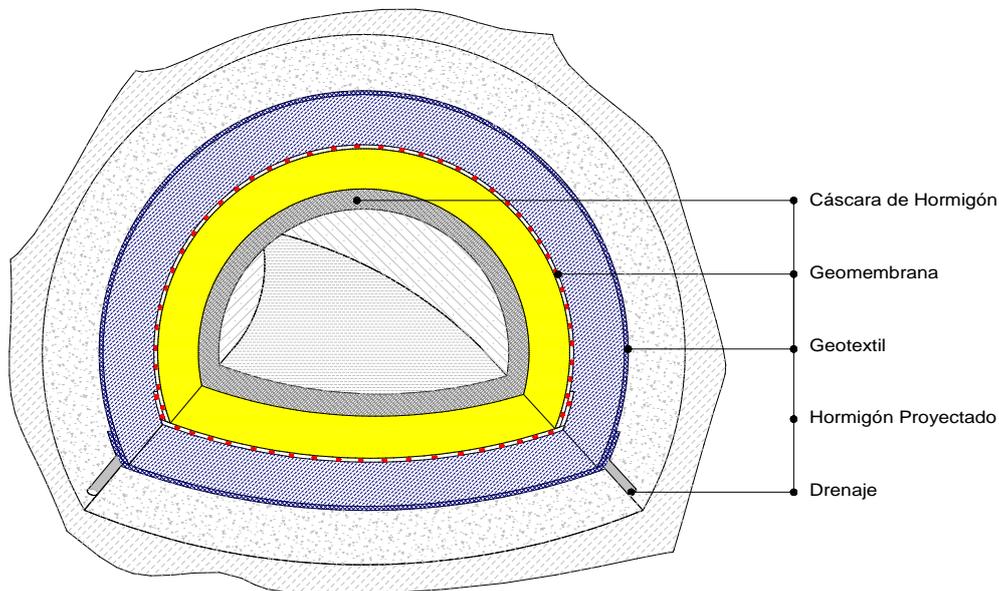
- La primera es crear compartimientos con water stops para evitar la infiltración del agua sobre una longitud importante del túnel.
- La segunda, consiste en colocar dispositivos de inyección para tener la posibilidad de reparar las fugas, después de haber vertido el hormigón.

Vista la importancia que tiene para el funcionamiento del sistema de estanqueidad, estas serán las precauciones que habrá que tener en cuenta.

Componentes del sistema de impermeabilización:

- Geotextil, mínimo 500 g/m² Polipropileno (no Poliéster), dependiendo de la superficie.
- Membrana, homogénea termoplástica, material tipo PVC-P, TPO; >2,0 mm de espesor, transparente (tipología francesa), o con una capa señalizadora (Signal Layer).
- Elementos de fijación.
- Tiras de refuerzo para proteger a la membrana, en el área donde se acaba el encofrado.
- Membrana de protección (tipología francesa)
- Water stops

- Dispositivo de inyección

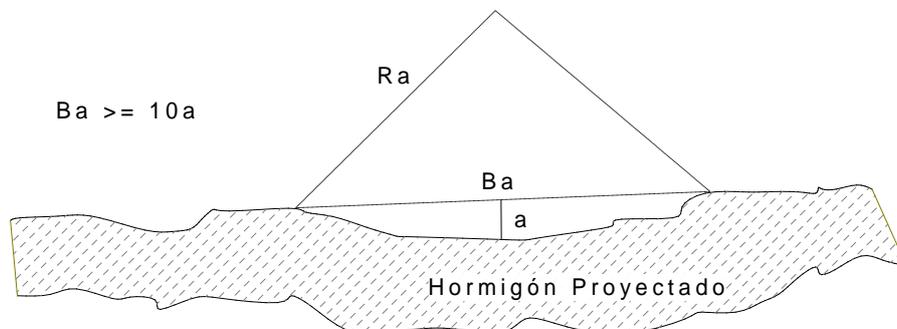


3.2. Soporte

La superficie del soporte es decisiva para la construcción del túnel, por lo tanto tiene que ser lo más plana posible, el granulado utilizado no deberá ser mayor a 16 mm. Se debe seguir la geometría de la superficie ($Ba \geq 10 a$) para evitar la posibilidad de que la geomembrana se pliegue después de verter el hormigón (ver detalle de la geometría).

La superficie es un elemento muy importante, ya que es el responsable para que el sistema de revestimiento se adapte bien a la misma después de verter el hormigón. En el caso de que la superficie sea muy irregular, se producirán pliegues en la membrana. En los túneles donde hay presión del agua estos pliegues pueden llevar a fallos de la membrana.

Definición de la Base



4. INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE IMPERMEABILIZACION EN TUNELES

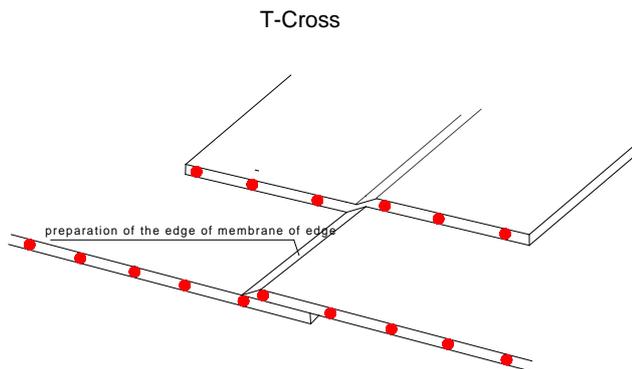
4.1. Instalación de los geotextiles

Después de inspeccionar la superficie de hormigón se coloca el geotextil en la zona inferior. La superposición ha de ser la suficiente para asegurar la protección de la geomembrana en cualquier lugar del túnel (10 cm mínimo).

4.2. Instalación de la Geomembrana

Las membranas se colocarán y se soldarán entre sí con máquina de soldadura automática. Cada vez que haya un cruce en forma de T , se tendrá que adaptar la membrana a los bordes para garantizar una correcta soldadura.

Al instalar la membrana se aconseja evitar los puntos en forma de T, ya que podemos tener peligro por capilaridad. La membrana debe ser cortada inclinada para permitir que la maquina de soldar, produzca soldaduras sin fallos.



4.3. Water stops

Los water stop dividen el sistema de estanqueidad en compartimentos, lo cual limita la extensión de la infiltración del agua.

En combinación con un sistema de inyección, la reparación de un escape en un compartimento se puede llevar a cabo sin dañar la geomembrana, así como mantener el coste a un nivel razonable.

Para instalar el water stop, la mejor manera es soldarlo directamente a la geomembrana fuera del túnel, bajo buenas condiciones con una maquina de soldar

utilizada en cubiertas. Esta membrana se pondrá por encima de la próxima y con maquina de doble soldadura con canal de comprobación se realizará la soldadura. Esta tecnología permite una perfecta soldadura del sistema.



Membranas con water stops soldadas (producidos en prefabricación).

El ancho de la membrana prefabricada con water stop puede tener el mismo ancho que la membrana normal (en general 2,05 m).

En la bóveda se recomienda tomar una tira de membrana no mayor de 1,00 m. La soldadura manual se debe evitar por completo. Es muy difícil ofrecer una soldadura de estas características perfecta de los water stops a las membranas, ya que la superficie en general es irregular y desigual. Un factor muy importante de la soldadura es que la presión ejercida a mano es muy irregular.

Las tuberías de inyección

Las tuberías de inyección se pueden colocar en las esquinas del compartimento y, dependiendo del tamaño de dicho compartimento también en el centro. Se recomienda el uso de water stops con un tubo de inyección integrado, ya que es importante para asegurar la estanqueidad de las juntas. Las tuberías de inyección también cumplen con la tarea de sistema de detección. En caso de fuga el agua saldrá por las tuberías de inyección, por lo tanto, también son muy útiles como dispositivos de control después de haber vertido el hormigón.



4.4. Conexión de la bóveda

El sistema de impermeabilización de la parte inferior del túnel deberá sobrepasar la construcción de la parte inferior del hormigón, lo suficiente como para garantizar una conexión segura con la impermeabilización de la bóveda. La geomembrana y geotextil serán fijados provisionalmente al hormigón proyectado. Es muy importante proteger esta zona con mucho cuidado. Las barras de refuerzo - que salen de la losa y que se conectan con las barras de refuerzo de la bóveda - ponen en peligro el sistema de impermeabilización.

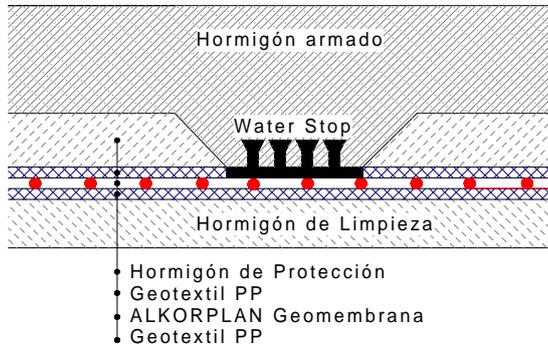


Barras de refuerzo que ponen en peligro el sistema de impermeabilización Encofrado de hormigón

4.5. Protección del sistema de impermeabilización de la losa inferior

Cuando el sistema de impermeabilización está instalado, tiene que ser recubierto con un geotextil y una protección de hormigón de unos 10 cm. Las áreas deben impedir que el agua deba estar libre para ser embebidas en el hormigón de la losa para poder cumplir con su tarea.

Water stop en el Fondo



Instalació de Water Stop en la losa

4.6. Losa de Hormigón

Las obras de refuerzo se pueden ejecutar, así como el vertido del hormigón de la losa. El hormigón de protección debe asegurar de que nada puede dañar el sistema de impermeabilización a través del encofrado de la losa de hormigón

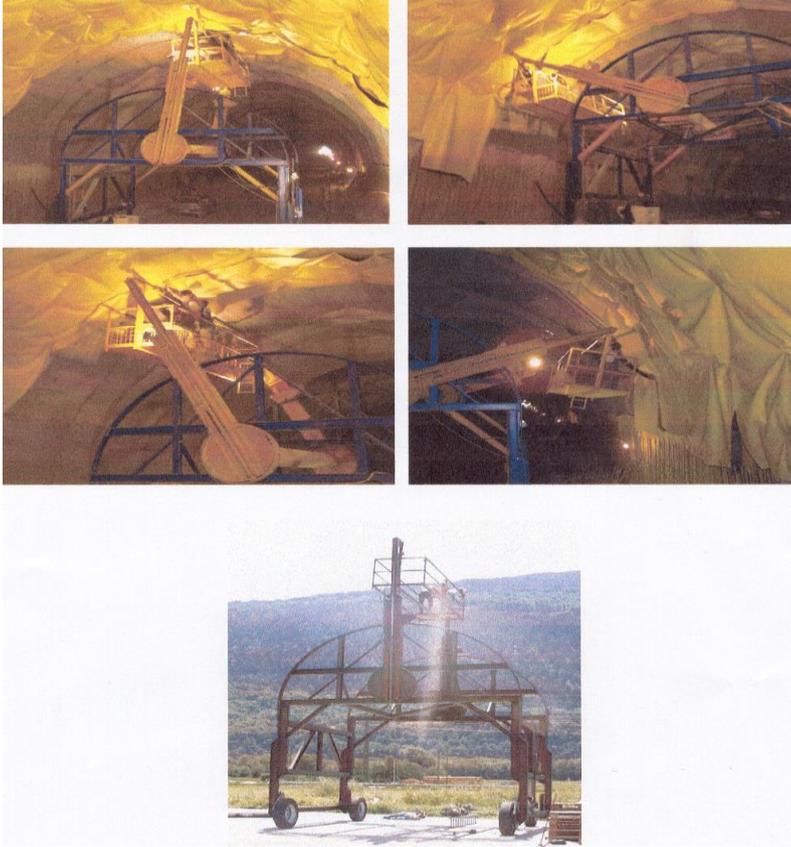
5. INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE ESTANQUEIDAD A LA BOVEDA DEL TUNEL

Antes de iniciar la instalación, el instalador tiene que confirmar que la superficie del soporte sigue las especificaciones

ANDAMIOS

El andamiaje para la instalación del sistema de revestimiento se puede colocar sobre la losa del túnel. Dependiendo de qué tipo de andamios se utilicen, el geotextil y la geomembrana se instalará desde un lado del túnel al otro (uso de andamios hidráulicos) o desde el punto más alto del túnel hacia a ambos lados (andamios manuales).

Andamios hidráulicos



El andamio hidráulico es costoso, pero permite una condición de trabajo más cómoda para el instalador. Tiene que ser ajustable siguiendo la geometría del hormigón proyectado.

El geotextil se coloca en la barra de acero de la canasta móvil, donde se despliega automáticamente con el levantamiento de la cesta. El geotextil se fija con las arandelas a las que se soldará a posterior la geomembrana en la segunda vuelta de la canasta. Después de haber fijado los dos elementos el andamio puede pasar a colocarse en posición para la próxima ubicación del sistema de impermeabilización.

Andamio convencional



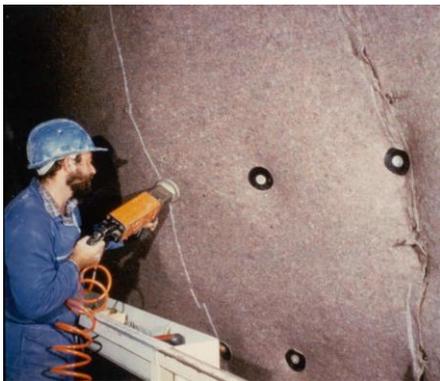
La utilización de andamios convencionales significa trabajo duro. En primer lugar los rollos de geotextil se llevan al nivel más alto de los andamios, y se fija a la superficie de hormigón proyectado con las arandelas. Luego la geomembrana se desenrolla en la parte superior de los andamios, y es soldada por puntos a la fijación de las arandelas, se parte del punto más alto de la bóveda.

5.1. Instalación del Geotextil

El geotextil se fijará con arandelas de PVC-P : en el área de la pared se colocaran aproximadamente 2 unidades por m², en cambio en la bóveda 3 unidades por m². Los elementos de fijación deben ser fijados en los puntos de profundidad de la superficie de hormigón para evitar alargamientos de la geomembrana durante el vaciado del hormigón (la geomembrana será soldada a estas arandelas de fijación).

El geotextil se eleva hasta el andamio, se desenrolla y se fija con las arandelas de fijación a la superficie del hormigón. El geotextil debe tener una superposición de un mínimo de 10 cm. El geotextil se fija completamente sobre la superficie de la obra proyectada en del día.

En las áreas de importantes irregularidades, se recomienda doblar el geotextil.



Fijación del Geotextil



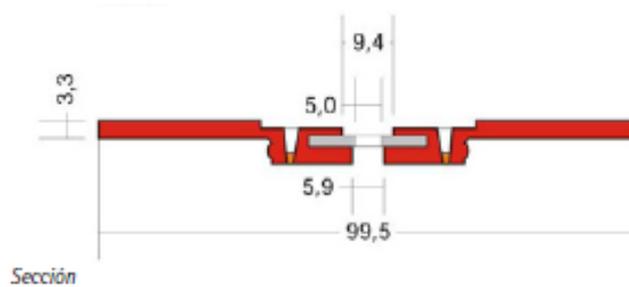
Fijación de la Geomembrana a través de la soldadura directa

5.2. Fijación de arandelas circulares

La tarea de la fijación de las arandelas circulares será por un lado, se fijara el geotextil a la superficie de hormigón proyectado con clavos de disparo, por otro lado servirá como superficie de soldadura con el fin de fijar la geomembrana en el túnel. La arandela circular será fabricada de la misma composición de material de la membrana para asegurar la compatibilidad entre los materiales.

En caso de haber mucha presión detrás de la geomembrana, la zona "knock-out" de la arandela impide que la fijación caiga detrás de la geomembrana, lo que podría conducir al daño de la impermeabilización.

Ejemplo de una arandela circular de PVC-P plano con sistema de „knock-out“ eliminación directa, con junta de acero:



5.3. Instalación de la Geomembrana

El productor de la membrana tiene que fabricar la membrana en la longitud correcta siguiendo las indicaciones del instalador. Paralelo a la longitud indicada se aplicará una marca en el centro, así como una línea también paralela a la membrana a una distancia del borde de 5 a 8 cm. La marca del centro muestra al instalador donde tiene que fijar la membrana en el punto más alto de la bóveda, mientras que la línea lateral indica la superposición necesaria para la soldadura.

El instalador desenrolla la membrana en la parte superior de los andamios, las suelda a las arandelas circulares en el punto más alto de la bóveda y continúa hacia abajo con este trabajo hasta que toda la membrana está conectada a la fijación de las arandelas.

De esta manera, la cantidad diaria de membrana se adjuntará a la superficie del túnel.

Volviendo con el andamiaje, al inicio de las membranas recién fijadas, se comienza el procedimiento de soldadura.

Con la ayuda de las máquinas de aire caliente, se realizan las soldaduras con canal de comprobación, las membranas se sueldan entre sí. El instalador tiene que tener cuidado de que la máquina está bien ajustada con referencia a la temperatura, velocidad y presión. Por lo tanto, es crucial ajustar la máquina a través de una soldadura de prueba todos los días antes de iniciar los trabajos de ensamblaje inicial.



5.4. Water stops

En cuanto a la losa, es preferible soldar los water stops durante la prefabricación en las tiras de la membrana.

Después de haber colocado todas membranas en posición, la conexión de las tiras de prefabricados de las membranas con los water stops, tienen que encajar exactamente con el solapamiento necesario para las soldaduras.



5.5. Tuberías de inyección

Las tuberías de inyección se tienen que colocar en la posición correcta, a ambos lados de la bóveda.

5.6. Tira de refuerzo

Las unidades de encofrado para el hormigón interior son, en general, entre 8 y 12 m. Al final de la unidad del encofrado se debe colocar la cabeza del mismo. La instalación de este encofrado, compuesto de tablas, puede poner en peligro el sistema de impermeabilización; esto significa que durante la fijación de dichas tablas la membrana puede ser dañada.

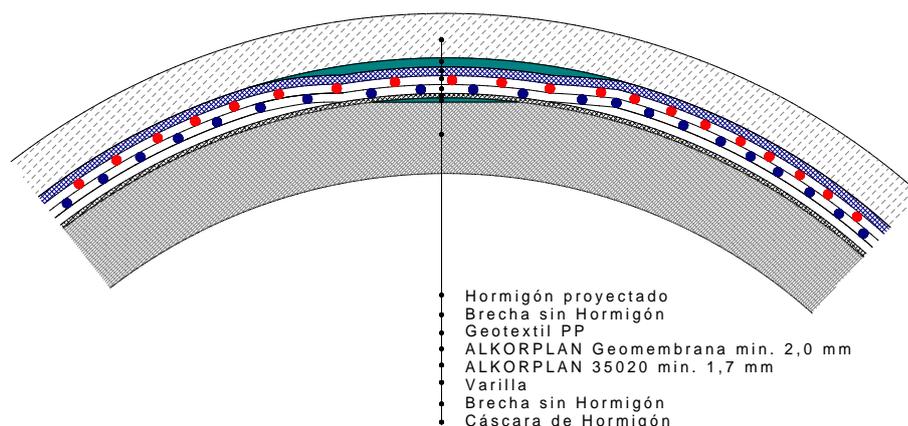
Por lo tanto, se colocará una franja de protección de unos 50 cm sobre la membrana en la parte final de la unidad del encofrado con el fin de fortalecer el sistema de estanqueidad.

5.7. Hormigón para la bóveda

A lo largo del procedimiento del hormigón se aplicará una tensión a la geomembrana, lo que provoca un alargamiento leve debido al peso del concreto. Las experiencias han demostrado que en el pasado, dependiendo de la superficie del hormigón y la forma de instalación del sistema de revestimiento, los pliegues pueden aparecer debido al vertido del hormigón. Una superficie lisa en el hormigón garantiza que haya menos pliegues en la geomembrana.

El pico de la bóveda habrá que tratarlo con mucho cuidado. Después de haber vertido el hormigón, el cemento empieza a asentarse y deja un hueco en la parte superior de la bóveda. Hay que tomar precauciones para cerrar esta brecha mediante la inyección de cemento una vez haya fraguado. Las barras de acero tienen que estar completamente integradas en el hormigón, así como los anclajes del water stop (si existen).

Parte superior de la Bóveda
Sistema francés de Impermeabilización

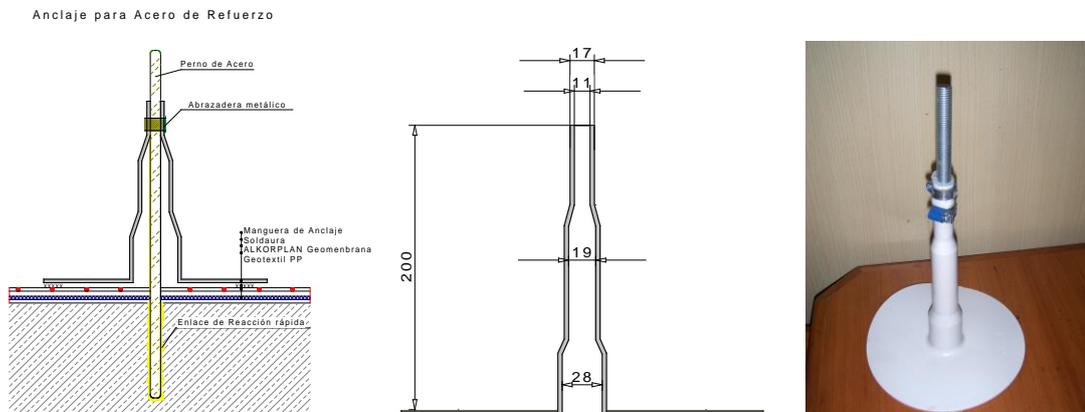


5.8. Instalación de barras de refuerzo / Anclajes

La instalación de las barras de acero de refuerzo para después hormigonar es uno de los peligros más importantes para el sistema de estanqueidad. En la bóveda la geomembrana no suele estar protegida y por lo tanto, la misma esta expuesta al peligro de ser perforada durante los trabajos de colocación de dichos refuerzos. Las barras de acero tienen que ser colocados a una cierta distancia del sistema de estanqueidad. En el caso de no tener un refuerzo propio se recomienda utilizar anclajes en las que las barras se fijan a una distancia prudencial. Los anclajes son capaces de soportar cargas superiores a 30 kN dependiendo de la calidad de la capa de hormigón.

Este tipo de anclaje es un sistema completamente cerrado, el agua no puede entrar entre el sistema de estanqueidad y en el interior de la capa de hormigón. El anclaje se compone de un tubo de PVC-P rígido con una brida, en la que se suelda la geomembrana de PVC-P.

Después de haber instalado la geomembrana, se perfora con un agujero el hormigón a través de la geomembrana. El tubo de PVC-P se adhiere en la perforación. La pestaña de PVC-P flexible se suelda a la geomembrana. En el tubo de PVC-P se introduce una aguja de acero con el fin de fijar el acero de refuerzo en el interior de la placa de hormigón.



5.9 Sistema encolado

El último desarrollo en la estanqueidad es el empleo de sistemas de impermeabilización encolados. Los túneles se hacen más largos con el desarrollo de los trenes de alta velocidad. Estos túneles se construyen con las máquinas TBM, donde la geología lo permite y el perfil de la zona excavada es regular. Las dovelas o secciones encofradas prefabricadas se colocan delante del hormigón proyectado y hace una

superficie perfecta para unir el geocompuesto a ella.
Para esta aplicación se usa una geomembrana con un geotextil laminado de PP para lograr la estanqueidad de la construcción. Por consiguiente se desarrollaron máquinas especiales para la instalación de las membranas. Contienen un sistema de limpieza, cepillado y una unidad de encolado, y a su vez se pueden dirigir con sólo tres hombres.

El rendimiento con esta máquina instaladora es mayor comparado con el método convencional de instalación.

RENOLIT es capaz de ofrecer la geomembrana adecuada para esta



Máquina para el sistema de instalación automática

6. MATERIAL

Geomembrana

La elección de la geomembrana se debe hacer según la tarea que debe cumplir la geomembrana (PVC-P, PP o PE).

Las geomembranas de PVC-P son el material más adecuado para la impermeabilización de túneles y cimentaciones, debido a su excelente rendimiento mecánico y su buena resistencia química.

Durante los últimos 40 años se han formulado todo tipo de membranas de PVC-P, y debido a las normas existentes en Europa dos tipos finalmente conquistaron este difícil mercado.

En los países de habla alemana la membrana „signal layer“ (capa señalizadora bicolor) se convirtió en la elegida.

En Francia y otros países mediterráneos la membrana translúcida fue elegida como el material mas adecuado para este sector tan importante de impermeabilización.

6.1.1. Sistema con signal layer (capa señalizadora)

El objetivo de la membrana "signal layer" es detectar fallas y fugas a través de una capa muy delgada. La capa señalizadora debe ser la cara superior de la membrana con un color fuerte brillante, y a su vez muy delgado (menos de 0,2 mm en el DS 853) para que el color oscuro de la membrana de debajo se pueda ver en el caso de un impacto mecánico. Las dos capas tienen que estar fabricadas con la misma materia prima, para evitar cualquier deslaminación

RENOLIT ALKORPLAN 35041: membrana de PVC-P para túneles y obras subterráneas con una capa calandrada de "signal layer".

La capa señalizadora se produce por calandra / laminación con el fin de:

- obtener una capa de señal con un espesor inferior a 0.2 mm (como se requiere en la DS 853 y en la ZTV túnel)
- obtener un perfecto control sobre el espesor de la superficie entera.

6.1.2. Sistema translúcido

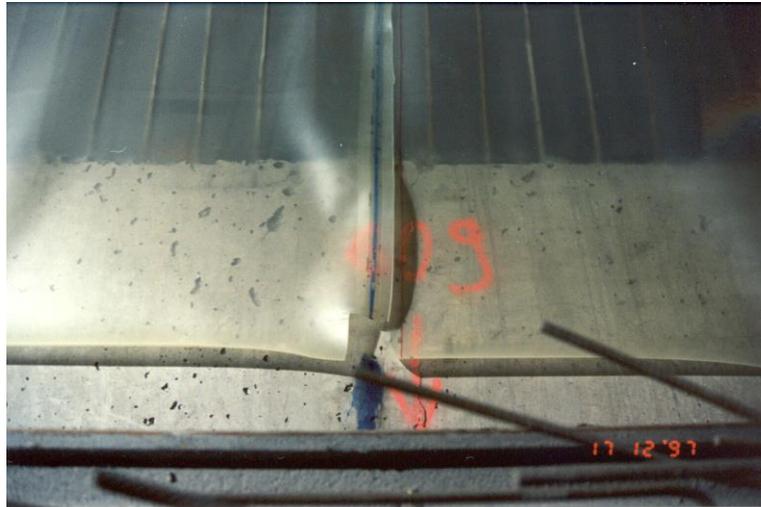
El uso de una membrana translúcida permite tener buen control visual de la soldadura (continuidad y combustión).



Esta imagen muestra visualmente que la soldadura es de buena calidad. La soldadura es más transparente que el área del canal de prueba; pero a la vez las marcas negras al principio de la soldadura demuestran que, o bien la temperatura era muy alta, o que no se había limpiado la cuña caliente adecuadamente. En tal caso, una investigación especial sobre la calidad de la soldadura en esta área se puede realizar inmediatamente. Con una membrana opaca estos defectos no se verían.

La doble soldadura puede ser controlada con presión del aire, así como con líquidos de colores. La ventaja de este método consiste en detectar de inmediato el lugar donde la soldadura ha fallado.

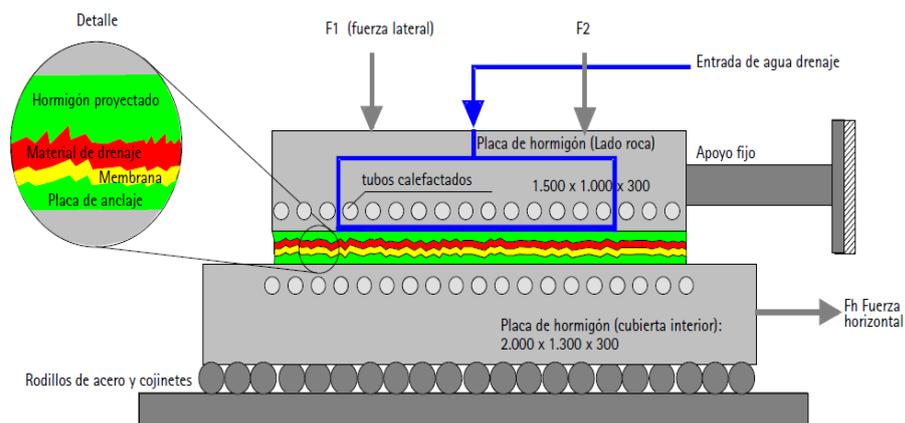
RENOLIT ALKORPLAN 35036: membrana de PVC-P translúcida.



Control con líquido de color

6.1.3. Resistencia de la membrana de PVC-P RENOLIT ALKORPLAN bajo presión

- Intensas pruebas para el túnel de St. Gotthard en Suiza (Proyecto de NEAT) muestra la alta cizalladura / y la resistencia a la compresión de la membrana de PVC-P RENOLIT ALKORPLAN 35036 traslúcida con un espesor de 2mm, incluso bajo alta presión:
 - Carga de 2Mpa
 - Movimiento horizontal de 3mm



Esquema del corte del dispositivo de compresión / desgarro con la posibilidad de calentar y drenar, la placa superior (fija) corresponde al hormigón proyectado del soporte del túnel

Fuente: The Sealing of Deep-seated Swiss Alpine Railway Tunnels – New Evaluation Procedure for Waterproofing Systems – NEAT AlpTransit

- El laboratorio alemán SKZ demuestra que la membrana de PVC-P RENOLIT ALKORPLAN 35036 traslucida de 2mm de espesor tenía un comportamiento excelente bajo presión. (EN ISO 604):
- Esfuerzo de compresión, a 20% de compresión, es de 13.3MPa, cuando el mínimo requerido es de 2.5MPa;
- Compresión a 2.5MPa esfuerzo de compresión, es de 7.5% cuando se requiere un 20% máximo.
- El instituto francés CETE demuestra que el sistema de impermeabilidad compuesto de geotextil 700g/m² + geomembrana RENOLIT ALKORPLAN 35036 2mm + capa protectora RENOLIT ALKORPLAN 35020 1.9mm ofrece una resistencia a la perforación dinámica superior a 8.5J (capitulo 67 titulo III of C.C.T.G.)

6.2. Geotextil

6.2.1. Producto

El geotextil debe ser de fibras de polipropileno, fibras cortas fijadas mecánicamente o fibras largas. El geotextil de poliéster tiene que ser evitado debido a la hidrólisis del poliéster a causa de la alcalinidad del hormigón. El cemento recién aplicado ataca al geotextil de poliéster y después de cierto tiempo el mismo se disuelve completamente.

6.2.2. Datos técnicos

Características	NORMAS	UNIDAD	Especificaciones
Peso de superficie	(EN ISO 9864)	g/m²	500 +-10%
Espesor Nominal en 20kPa	(EN ISO 9863-1)	mm	≥ 3.0 +-20%
Fuerza de tracción L&T	(EN ISO 10319)	kN/m	≥ 32 -10%
Alargamiento a carga máxima	(EN ISO 10319)	%	≥ 80% +-20%
Prueba de punción estática (CBR)	(EN ISO 12236)	kN	>= 6.2 -10%
Prueba Dinámica de punción (ensayo caída de cono)	(EN 918)	mm	4 +20%
Resistencia a la oxidación	(EN ISO 13438)	Pronóstico de durabilidad mínima de 25 años para todas las aplicaciones en terreno natural con 4<pH<9 y la temperatura del suelo <25°C	

Hay dos tipos de sistemas diferentes de inyección disponibles:

- Tubería de inyección
- Tubo de inyección



Tubería de inyección



Tubo de inyección

6.4.1. Tubería de inyección

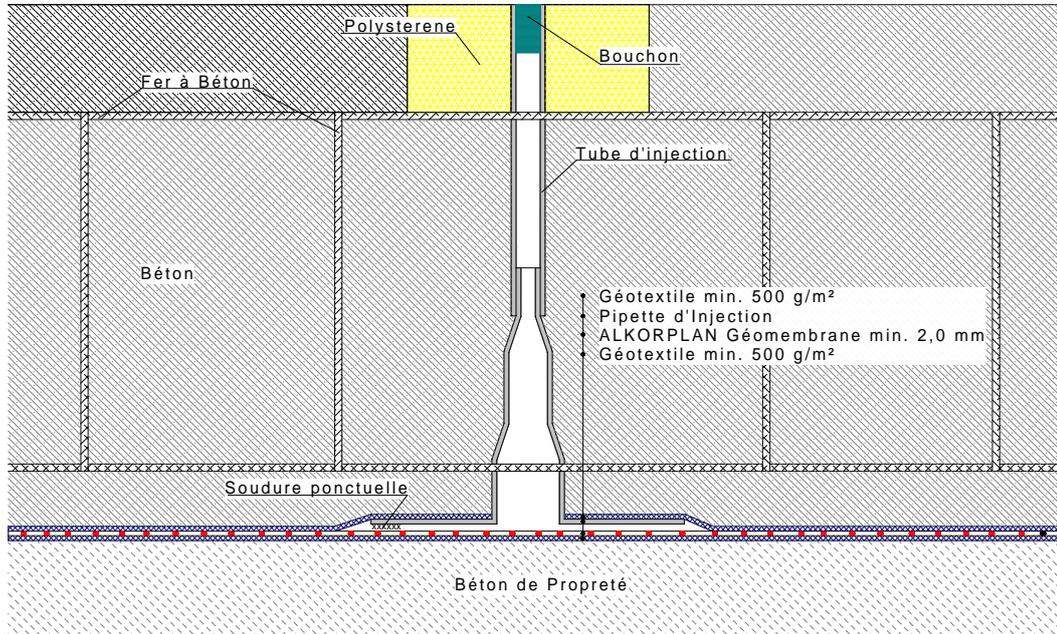
El tubo de inyección es una manguera a la que se suelda un tubo de PVC-P a través de THF. El tubo tiene que resistir una presión de al menos 6 a 8 bares. La conexión entre la tubería está asegurada a través de una soldadura homogénea con THF. No se usará ningún dispositivo metálico para evitar el peligro de perforación de la membrana.

La pieza de salida del tubo de inyección tiene que estar integrada en un dispositivo seguro, de la superficie del hormigón.



Entrada protegida de la tubería de inyección

Système d'injection



Tubería de inyección soldada en un punto concreto en la membrana

6.4.2. Tubo de inyección

Tubos de inyección soldados puntualmente a la geomembrana



Re-injectable hose



Installed Injection Hose spot welded to the Geomembrane

6.5. Andamios

6.5.1. Andamio simple

En general, los andamios simples se utilizan, sobre rieles o sobre ruedas. El andamiaje consiste en elementos estables que se pueden transportar fácilmente y que permite las adaptaciones de las dimensiones del túnel.

6.5.2. Andamio hidráulico

Un andamiaje más sofisticado es el que esta compuesto por una cesta hidráulica que gira de un lado a otro.

6.6. Herramientas de soldadura

6.6.1. Maquina de soldar de cuña caliente

Este tipo de máquina trabaja con una cuña de calor eléctrica. Encima y debajo de la cuña hay dos rodillos de presión que trabajan de forma independiente.

La cuña caliente se guía entre las membranas superpuestas; los dos rodillos de presión avanzan la maquina a una velocidad determinada. Temperatura, presión y velocidad se ajustan antes de ejecutar la soldadura final.

La máquina está completamente guiada electrónicamente. A consecuencia de los cambios de temperatura, la guía electrónica ajustara la temperatura dependiendo de las condiciones. Las pruebas han demostrado que la soldadura ejecutada por una maquina de cuña caliente ofrece un resultado de casi un 100%.

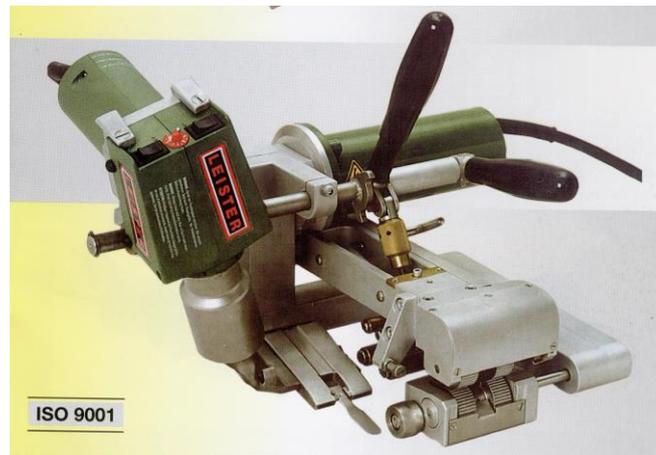


Maquina automática de soldadura de cuña caliente

6.6.2. Maquina automática de soldadura de aire caliente

La máquina es una combinación de cuña caliente / una maquina de soldadura de aire caliente.

La temperatura de aire caliente, la presión y la velocidad de soldadura son ajustables y se controlan electrónicamente.



Maquina automática de soldadura de aire caliente

6.6.3. Soldador manual

El soldador manual usa aire caliente y es indispensable para proyectos debajo de la tierra. Todos los detalles constructivos se deberán soldar con esta tipología de maquina.



7. CONTROL Y PRUEBA DE LA IMPERMEABILIDAD

Los trabajos de impermeabilización tienen que ser controlados con cuidado, ya que la menor fuga puede causar graves problemas en el futuro, por lo tanto, todas las uniones ejecutadas in situ o en prefabricación tienen que pasar unas pruebas.

7.1. Control de la doble soldadura a través de la presión del aire

La soldadura con máquina automática produce un canal de comprobación. Después de terminar el trabajo de soldadura las uniones tienen que ser probadas a través de la presión del aire, o por medio de un líquido de color que también tiene que ser introducido a presión en dicho canal.

El canal de aire está cerrado en ambos lados de la membrana. Una aguja de prueba (por ejemplo, del tipo Leister) se introduce en el canal de comprobación. La aguja tiene una forma cónica para evitar la evacuación del aire bajo presión. La presión tiene que ser de 2 bares y no se puede reducir más del 20% debido a la capacidad de elongación del material de PVC-P, en 15 minutos, y con una temperatura exterior de 30 ° C.

En el caso de un fallo la presión disminuye.

En el caso de pruebas con líquidos de colores, la fuga de la soldadura se puede detectar inmediatamente, ya que se derramará a través de la soldadura.

En el caso de una soldadura defectuosa, esta tiene que ser reparada cuidadosamente con soldadura manual.

Después de hacer una prueba con éxito, se suelda un trozo de PVC-P sobre el agujero de penetración de la aguja de prueba.

Cada trabajo de soldadura se tiene que comprobar de esta manera anotando la hora, fecha y la presión al principio y al final de la prueba.

Esta información se transcribe en un protocolo diario, que se firma por el ingeniero de control, el contratado y el instalador.



Dispositivos de Control



Control con líquido de color



Doble unión

Control de soldadura manual

Un tubo de acero conectado a un compresor con un diámetro de 3 a 4 mm se traza a lo largo de la unión bajo una presión de 5 bares.
Las fugas se detectan inmediatamente a través de la burbuja de aire en desarrollo debido a la presión del aire aplicado.



8. CONCLUSION

La instalación de sistemas de impermeabilización de túneles bajo la presión del agua es una sofisticada pieza de ingeniería. Sólo una instalación precisa puede llevar al éxito. El más mínimo error permitiría que entre el agua, entre la geomembrana y entre la capa de hormigón en el interior.

El instalador no puede ser el único responsable para garantizar el éxito de un sistema de impermeabilización en tales circunstancias, hay demasiados riesgos de daños después de que haya culminado su trabajo.

El contratista tiene la obligación de ejecutar las obras de la misma manera profesional y cuidado que el instalador para ofrecer un túnel seco.

Esta es una tarea difícil y por consiguiente pueden suceder fallos en el sistema de estanqueidad. Por lo tanto, un sistema de reparación está previsto desde el principio a través de la integración del sistema de compartimentación con tuberías de inyección. Se ofrece una oportunidad real para cerrar las fugas en el sistema de impermeabilización.

La gama de membranas de RENOLIT para el revestimiento del túnel es completa y además ofrece el material correcto para cada aplicación:

- RENOLIT ALKORPLAN 35034 geomembrana opaca siguiendo RVS 8T- Austria
- RENOLIT ALKORPLAN 35036 geomembrana traslucida con Avis Technique – Francia
- RENOLIT ALKORPLAN 35038 geomembrana negra resistente a betún
- RENOLIT ALKORPLAN 35041 geomembrana con capa señalizadora siguiendo RVS 8T, DS853

