

Diseño y construcción optimizada para plantas solares fotovoltaicas con y sin almacenamiento con foco en la seguridad (Visión PRL)

Manuel Jesús Martínez Pelayo – QHSE Manager
15/06/2020



PRL EN FASE DE DISEÑO

➔ Integración de la seguridad y salud en la etapa de diseño de la planta.

- De la evaluación de riesgos que se haga en esta fase, deberían establecerse medidas preventivas concretadas en:
 - ✓ Dimensionamiento de equipos y componentes (fase de ingeniería).
 - ✓ Especificaciones técnicas de compra de equipos (normativa aplicable y marcados de seguridad CE/UL).
 - ✓ Procedimientos de trabajo seguro en fase de construcción.
 - ✓ Procedimientos de trabajo seguro en fase de PeM.
 - ✓ Procedimientos de trabajo seguro en fase de O&M.

PRL EN FASE
DE DISEÑO

PRL EN FASE
DE DISEÑO

RE EN FASE DE
CONST. Y
O&M

RE EN FASE DE
CONST. Y
O&M

RE EN FASE DE
CONST. Y
O&M

RE EN FASE DE
CONST. Y
O&M

RE EN FASE DE
CONST. Y
O&M

SEGURIDAD
FRENTE A
PERSONAS

SEGURIDAD
FRENTE A
PERSONAS

SEGURIDAD
FRENTE A
PERSONAS

SEGURIDAD
FRENTE A
PERSONAS

CONCLUSIONES



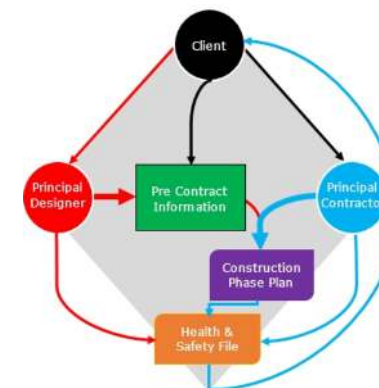
PRL EN FASE DE DISEÑO

➡ Cómo integrar PRL en fase de diseño:

- Formación PRL del equipo de ingeniería.
- Proceso de Evaluación de Riesgos iniciado desde esta fase.

➡ Ejemplo práctico. Regulación CDM en UK: Construction (Design and Management) Regulations 2015.

- En España según RD 1627/1997 se designa un CSS en fase de proyecto (incluyendo ingeniería).
- En CDM, el enfoque es el de integrar de manera efectiva la PRL en la fase de concepción d el proyecto, y asegurar transferencia de información entre las interfaces participantes.



PRL EN FASE
DE DISEÑO

PRL EN FASE
DE DISEÑO

RE EN FASE DE
CONST. Y
O&M

RE EN FASE DE
CONST. Y
O&M

RE EN FASE DE
CONST. Y
O&M

RE EN FASE DE
CONST. Y
O&M

RE EN FASE DE
CONST. Y
O&M

SEGURIDAD FRENTE A PERSONAS

SEGURIDAD FRENTE A PERSONAS

SEGURIDAD FRENTE A PERSONAS

SEGURIDAD FRENTE A PERSONAS

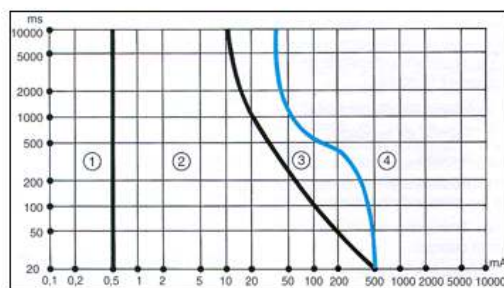
CONCLUSIONES



RIESGO ELÉCTRICO EN FASE DE CONSTRUCCIÓN y O&M

➔ Dentro del universo de riesgos presentes en la fase de construcción y en la fase de O&M de la planta, sin duda el riesgo eléctrico supone el principal peligro para la seguridad de los trabajadores.

➔ Efectos electricidad en el organismo: [NTP 400](#)



Zona 1: no aparece ninguna reacción.

Zona 2: generalmente no hay efectos fisiológico.

Zona 3: riesgo de asfixia y tetanización.

Zona 4: riesgo de fibrilación ventricular.

➔ Regulación clave en España: [Guía técnica Riesgo eléctrico \(RD 614/2001\)](#)

PRL EN FASE DE DISEÑO

PRL EN FASE DE DISEÑO

RE EN FASE DE CONST. Y O&M

RE EN FASE DE CONST. Y O&M

RE EN FASE DE CONST. Y O&M

RE EN FASE DE CONST. Y O&M

RE EN FASE DE CONST. Y O&M

SEGURIDAD FRENTE A PERSONAS

SEGURIDAD FRENTE A PERSONAS

SEGURIDAD FRENTE A PERSONAS

SEGURIDAD FRENTE A PERSONAS

CONCLUSIONES



RIESGO ELÉCTRICO EN FASE DE CONSTRUCCIÓN y O&M

➔ Atendiendo a los requisitos de la reglamentación sobre riesgo eléctrico, y las particularidades del proyecto/instalación, así como las LLAA previas, se debe desarrollar el Plan de seguridad y los procedimientos de trabajos seguro, detallando las medidas preventivas a adoptar. Aspectos clave a considerar sobre riesgo eléctrico:

- Formación, Autorización y Cualificación del personal.
- Aplicación siempre de las 5 Reglas de oro para trabajos sin tensión (incluyendo maniobras, mediciones, ensayos y verificaciones). A priori no tienen que realizarse TeT en las plantas FV (ojo con distancias de seguridad a elementos en tensión).
- Detallar los EPI y EPC específicos con las propiedades dieléctricas adecuadas a los niveles de tensión de trabajo.

PRL EN FASE
DE DISEÑOPRL EN FASE
DE DISEÑORE EN FASE DE
CONST. Y
O&MRE EN FASE
DE CONST. Y
O&MRE EN FASE DE
CONST. Y
O&MRE EN FASE DE
CONST. Y
O&MRE EN FASE DE
CONST. Y
O&MSEGURIDAD
FRENTE A
PERSONASSEGURIDAD
FRENTE A
PERSONASSEGURIDAD
FRENTE A
PERSONASSEGURIDAD
FRENTE A
PERSONAS

CONCLUSIONES



RIESGO ELÉCTRICO EN FASE DE CONSTRUCCIÓN y O&M

➔ Autorización y cualificación del personal:



	Trabajos sin tensión		Trabajos en tensión		Maniobras, mediciones, ensayos y verificaciones		Trabajos en proximidad	
	Supresión y reposición de la tensión	Ejecución de trabajos sin tensión	Realización	Reponer fusibles	Mediciones, ensayos y verificaciones	Maniobras locales	Preparación	Realización
BAJA TENSIÓN	A	T	C	A	A	A	A	T
ALTA TENSIÓN	C	T	C + AE (con vigilancia de un Jefe de trabajo)	C (a distancia)	C o C auxiliado por A	A	C	A o T vigilado por A
T = CUALQUIER TRABAJADOR A = AUTORIZADO C = CUALIFICADO C + AE = CUALIFICADO Y AUTORIZADO POR ESCRITO								

PRL EN FASE DE DISEÑO

PRL EN FASE DE DISEÑO

RE EN FASE DE CONST. Y O&M

RE EN FASE DE CONST. Y O&M

RE EN FASE DE CONST. Y O&M

RE EN FASE DE CONST. Y O&M

RE EN FASE DE CONST. Y O&M

SEGURIDAD FRENTE A PERSONAS

SEGURIDAD FRENTE A PERSONAS

SEGURIDAD FRENTE A PERSONAS

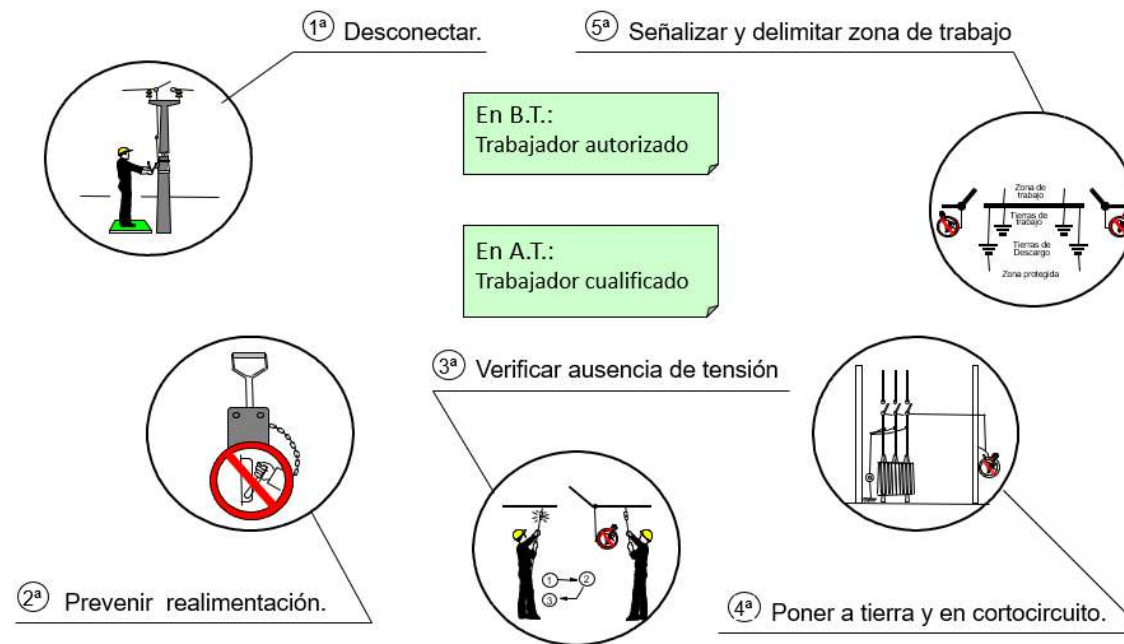
SEGURIDAD FRENTE A PERSONAS

CONCLUSIONES



RIESGO ELÉCTRICO EN FASE DE CONSTRUCCIÓN y O&M

➔ 5 Reglas de oro:



- En relación con 2ª regla, para la fase de pruebas y puesta en marcha, es importante definir bien procedimiento LOTO (“Lock Out Tag Out”)



PRL EN FASE DE DISEÑO

PRL EN FASE DE DISEÑO

RE EN FASE DE CONST. Y O&M

RE EN FASE DE CONST. Y O&M

RE EN FASE DE CONST. Y O&M

RE EN FASE DE CONST. Y O&M

RE EN FASE DE CONST. Y O&M

SEGURIDAD FRENTE A PERSONAS

SEGURIDAD FRENTE A PERSONAS

SEGURIDAD FRENTE A PERSONAS

SEGURIDAD FRENTE A PERSONAS

CONCLUSIONES



RIESGO ELÉCTRICO EN FASE DE CONSTRUCCIÓN y O&M

➔ EPI y EPC para riesgo eléctrico:

PRL EN FASE
DE DISEÑO

PRL EN FASE
DE DISEÑO

RE EN FASE DE
CONST. Y
O&M

RE EN FASE DE
CONST. Y
O&M

RE EN FASE DE
CONST. Y
O&M

RE EN FASE DE
CONST. Y
O&M

RE EN FASE
DE CONST. Y
O&M

SEGURIDAD
FRENTE A
PERSONAS

SEGURIDAD
FRENTE A
PERSONAS

SEGURIDAD
FRENTE A
PERSONAS

SEGURIDAD
FRENTE A
PERSONAS

CONCLUSIONES

I. Equipos de protección individual frente al choque eléctrico*																							
Denominación	Normas técnicas aplicables	Protección dieléctrica																					
Casco aislante de la electricidad	UNE-EN 50365. Cascos eléctricamente aislantes para su utilización en instalaciones de baja tensión	<table border="1"> <tr> <td>Clase 0</td><td>$V_{ca} < 1000 \text{ V}$</td><td>$V_{cc} < 1500 \text{ V}$</td></tr> </table> <p>* NOTA: la evaluación de riesgos determinará la necesidad de que el casco disponga de elementos adicionales (barboquejo, etc.)</p>	Clase 0	$V_{ca} < 1000 \text{ V}$	$V_{cc} < 1500 \text{ V}$																		
Clase 0	$V_{ca} < 1000 \text{ V}$	$V_{cc} < 1500 \text{ V}$																					
Guantes aislantes para trabajos eléctricos ^(*) ^(*) Los guantes aislantes de la electricidad que incorporan protección mecánica se denominan "guantes compuestos" y si además de esta protección mecánica extienden su protección a parte del brazo (aproximadamente hasta la axila) se denominan "guantes largos compuestos"	UNE-EN 60903. Trabajos en tensión. Guantes de material aislante	<table border="1"> <tr> <th>Clase</th><th>$V_{ca} \text{ (kV)}$</th><th>$V_{cc} \text{ (kV)}$</th></tr> <tr> <td>00</td><td>$< 0,5$</td><td>$< 0,75$</td></tr> <tr> <td>0</td><td>< 1</td><td>$< 1,5$</td></tr> <tr> <td>1</td><td>$< 7,5$</td><td>$< 11,25$</td></tr> <tr> <td>2</td><td>< 17</td><td>$< 25,5$</td></tr> <tr> <td>3</td><td>$< 26,5$</td><td>$< 39,75$</td></tr> <tr> <td>4</td><td>< 36</td><td>< 54</td></tr> </table>	Clase	$V_{ca} \text{ (kV)}$	$V_{cc} \text{ (kV)}$	00	$< 0,5$	$< 0,75$	0	< 1	$< 1,5$	1	$< 7,5$	$< 11,25$	2	< 17	$< 25,5$	3	$< 26,5$	$< 39,75$	4	< 36	< 54
Clase	$V_{ca} \text{ (kV)}$	$V_{cc} \text{ (kV)}$																					
00	$< 0,5$	$< 0,75$																					
0	< 1	$< 1,5$																					
1	$< 7,5$	$< 11,25$																					
2	< 17	$< 25,5$																					
3	$< 26,5$	$< 39,75$																					
4	< 36	< 54																					
Manguitos aislantes	UNE-EN 60984. Manguitos de material aislante para trabajos en tensión																						
Ropa aislante de la electricidad	UNE-EN 50286. Ropa aislante de protección para trabajos en instalaciones de baja tensión	<table border="1"> <tr> <td>Clase 00</td><td>$V_{ca} < 500 \text{ V}$</td><td>$V_{cc} < 750 \text{ V}$</td></tr> </table>	Clase 00	$V_{ca} < 500 \text{ V}$	$V_{cc} < 750 \text{ V}$																		
Clase 00	$V_{ca} < 500 \text{ V}$	$V_{cc} < 750 \text{ V}$																					
Calzado aislante de la electricidad	UNE EN 50321. Calzado aislante de la electricidad para trabajos en instalaciones de baja tensión	<table border="1"> <tr> <td>Clase 00</td><td>$V_{ca} < 500 \text{ V}$</td><td>$V_{cc} < 750 \text{ V}$</td></tr> <tr> <td>Clase 0</td><td>$V_{ca} < 1000 \text{ V}$</td><td>$V_{cc} < 1500 \text{ V}$</td></tr> </table>	Clase 00	$V_{ca} < 500 \text{ V}$	$V_{cc} < 750 \text{ V}$	Clase 0	$V_{ca} < 1000 \text{ V}$	$V_{cc} < 1500 \text{ V}$															
Clase 00	$V_{ca} < 500 \text{ V}$	$V_{cc} < 750 \text{ V}$																					
Clase 0	$V_{ca} < 1000 \text{ V}$	$V_{cc} < 1500 \text{ V}$																					

II. Equipos de protección individual frente al arco eléctrico		
Denominación	Normas técnicas aplicables	Protección frente a riesgo térmico y otros
Pantalla facial	UNE-EN 166. Protección individual de los ojos. Especificaciones RfUs 03-024. Protección ocular y facial frente al arco eléctrico. Requisitos adicionales ^(*) ^(*) Criterio técnico consensuado a nivel europeo para complementar los requisitos de protección frente al arco eléctrico de las pantallas faciales	<ul style="list-style-type: none"> Las pantallas faciales son los únicos protectores que ofrecen protección frente a un riesgo derivado de la electricidad incorporando el requisito de protección contra el arco eléctrico en cortocircuito. Los oculares han de tener una clase ocular de 2-1, 2 o 3-1, 2. El número "8" es el símbolo del marcado que indica solidez frente al arco eléctrico de cortocircuito. Clase de protección frente al riesgo térmico generado por un arco eléctrico.
Guantes de protección frente a los riesgos térmicos derivados de un arco eléctrico Ropa de protección frente a los riesgos térmicos derivados del arco eléctrico	UNE-EN 61482-1-2. Trabajos en tensión. Ropa de protección contra los peligros térmicos de un arco eléctrico. Parte 1-2: Métodos de ensayo. Método 2: Determinación de la clase de protección contra el arco de los materiales y la ropa por medio de un arco dirigido y confinado (caja de ensayo) (IEC 61482-1-2-2007). UNE-EN 61482-1-1. Trabajos en tensión. Ropa de protección contra los peligros térmicos de un arco eléctrico. Parte 1-1: Métodos de ensayo. Método 1: Determinación de la característica del arco (APTV o EBT50) de materiales resistentes a la llama para ropa	<p>El nivel de protección térmica que ofrece el equipo de protección individual puede ser especificado de dos formas:</p> <p>a) Mediante una clase de protección que indica el nivel de energía del arco hasta que el equipo de protección individual protege:</p> <p>Clase 1: $1,2 \text{ cal/cm}^2 < E_{C1} < 3,2 \text{ cal/cm}^2$ Clase 2: $3,2 \text{ cal/cm}^2 < E_{C2} < 10,1 \text{ cal/cm}^2$ b) Mediante un valor numérico (expresado en kJ/m^2 o cal/cm^2) que indica el rendimiento térmico del material ante un arco.</p> <p>NOTA: Los parámetros anteriores no son comparables ni transformables uno en otro, de modo que la selección se debe hacerse en base a uno de ellos. Véanse las NTP 904 y 957: Arco eléctrico. Estimación de la energía calorífica incidente sobre un trabajador</p>

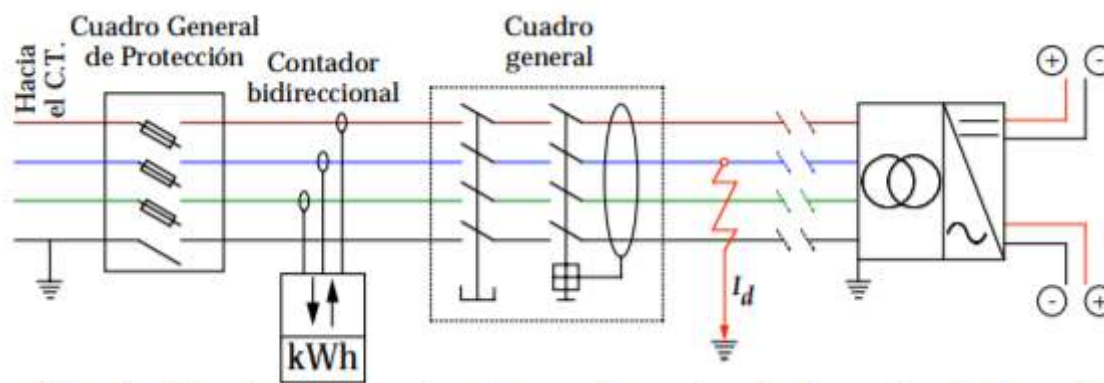
➔ Importante disponer igualmente de equipamiento (DEA), y personal con formación para actuar en caso de emergencia.



SEGURIDAD DE LA INSTALACIÓN FV FRENTE A LAS PERSONAS

➔ Parte de CA: Protección diferencial frente a contactos indirectos.

Ante un fallo de aislamiento en la parte de CA, el interruptor diferencial abre al identificar la corriente de fuga, y el inversor se desconecta de la parte de CC, o sea de la fuente fotovoltaica, lo que asegura que toda la parte de la línea de alterna comprendida entre el inversor y el diferencial quede separada de las dos fuentes de energía, de la fotovoltaica y de la red, que es lo que asegura la protección de las personas en ese tramo.



PRL EN FASE DE DISEÑO

PRL EN FASE DE DISEÑO

RE EN FASE DE CONST. Y O&M

RE EN FASE DE CONST. Y O&M

RE EN FASE DE CONST. Y O&M

RE EN FASE DE CONST. Y O&M

RE EN FASE DE CONST. Y O&M

SEGURIDAD FRENTE A PERSONAS

SEGURIDAD FRENTE A PERSONAS

SEGURIDAD FRENTE A PERSONAS

SEGURIDAD FRENTE A PERSONAS

CONCLUSIONES



SEGURIDAD DE LA INSTALACIÓN FV FRENTE A LAS PERSONAS

➔ Parte de CC: Equipos clase II, y ¿Protección diferencial o Configuración flotante (esquema IT según REBT)?

Interruptores diferenciales como tales para CC no existen a nivel comercial. Aún cuando existiera algún diseño específico para trabajar con CC, en una instalación FV, realmente éste no haría la función que hace que CA (separar la instalación que está protegida por él, de la parte de la instalación de la que proviene la energía).

La configuración más segura para las personas sin duda es la configuración aislada (IT), donde positivo y negativo están aislados entre sí, y de tierra.

En esta configuración ante un fallo de aislamiento en uno de los cables, un contacto directo o indirecto, no produce flujo de corriente por la persona. Solo en el caso remoto de cortocircuitar con el cuerpo ambos polos, la persona sufriría una descarga eléctrica.

PRL EN FASE
DE DISEÑOPRL EN FASE
DE DISEÑORE EN FASE DE
CONST. Y
O&MRE EN FASE DE
CONST. Y
O&MRE EN FASE DE
CONST. Y
O&MRE EN FASE DE
CONST. Y
O&MRE EN FASE DE
CONST. Y
O&MSEGURIDAD
FRENTE A
PERSONASSEGURIDAD
FRENTE A
PERSONASSEGURIDAD
FRENTE A
PERSONASSEGURIDAD
FRENTE A
PERSONAS

CONCLUSIONES



SEGURIDAD DE LA INSTALACIÓN FV FRENTE A LAS PERSONAS

➔ Inconvenientes configuración flotante o aislada en CC:

Su principal inconveniente son que no se pueden detectar los fallos de aislamiento y que la instalación puede cargarse electrostáticamente hasta un potencial que provoque descargas en forma de chispas.

Por ello se suele tender a una configuración de puesta a tierra de negativo con sistema GFDI (vigilante de aislamiento) que desconectaría inversor de red de CC, y aislamiento clase II en todos los componentes. ¿Pero qué pasa si hay fallo de aislamiento en cable positivo solar y hay un contacto directo?

PRL EN FASE
DE DISEÑOPRL EN FASE
DE DISEÑORE EN FASE DE
CONST. Y
O&MRE EN FASE DE
CONST. Y
O&MRE EN FASE DE
CONST. Y
O&MRE EN FASE DE
CONST. Y
O&MRE EN FASE DE
CONST. Y
O&MSEGURIDAD
FRENTE A
PERSONASSEGURIDAD
FRENTE A
PERSONASSEGURIDAD
FRENTE A
PERSONASSEGURIDAD
FRENTE A
PERSONAS

CONCLUSIONES



SEGURIDAD DE LA INSTALACIÓN FV FRENTE A LAS PERSONAS

➔ Recomendación para nuevas instalaciones:

- Configuración aislada IT + Dispositivo IMD
 - Segura para personas+Segura para producción de planta+Solución sin incrementar en exceso los costes del proyecto.

PRL EN FASE DE DISEÑO

PRL EN FASE DE DISEÑO

RE EN FASE DE
CONST. Y
O&MRE EN FASE DE
CONST. Y
O&MRE EN FASE DE
CONST. Y
O&MRE EN FASE DE
CONST. Y
O&MRE EN FASE DE
CONST. Y
O&MSEGURIDAD
FRENTE A
PERSONASSEGURIDAD
FRENTE A
PERSONASSEGURIDAD
FRENTE A
PERSONASSEGURIDAD
FRENTE A
PERSONAS

CONCLUSIONES



CONCLUSIONES

- ➔ La Integración de la seguridad y salud en la etapa de diseño de la planta, es clave para la evitar accidentes, tanto en fase constructiva, como en O&M.
- ➔ Elaboración del PSS atendiendo a las Regulaciones y Guías para trabajos con riesgo eléctrico, y lo que es más importante, a la experiencia y lecciones aprendidas de proyectos previos y plantas ya operativas.
- ➔ Casi todos los accidentes eléctricos tienen en su árbol de casusas un fallo de aplicación de las 5 reglas de oro.
- ➔ Desde una configuración y diseño adecuado de la planta, se puede conseguir una instalación más segura para las personas, sin tener impacto en su producción.

PRL EN FASE
DE DISEÑOPRL EN FASE
DE DISEÑORE EN FASE DE
CONST. Y
O&MRE EN FASE DE
CONST. Y
O&MRE EN FASE DE
CONST. Y
O&MRE EN FASE DE
CONST. Y
O&MRE EN FASE DE
CONST. Y
O&MSEGURIDAD
FRENTE A
PERSONASSEGURIDAD
FRENTE A
PERSONASSEGURIDAD
FRENTE A
PERSONASSEGURIDAD
FRENTE A
PERSONAS

CONCLUSIONES





Gracias por su atención

