

Caracterización de las infraestructuras críticas de exteriores
y su influencia sobre sistemas de vigilancia robóticos.

Gonzalo R.Canosa
Revisado por: Antonio Barrientos y Jaime del Cerro.

1, Septiembre 2011

Resumen

El presente documento contiene un análisis de las características de distintos tipos de infraestructuras críticas y de los robots necesarios para diseñar un sistema de vigilancia robótico.

En la introducción (capítulo 1) se define el concepto de infraestructura crítica y se proponen algunos sistemas de clasificación de las mismas. Además en la sección 1.3 se presentan las ventajas de un sistema robótico frente a los sistemas tradicionales de vigilancia.

A continuación, en el capítulo 2 se describen las características físicas más importantes de diferentes tipos de infraestructura crítica. Los tipos elegidos son centrales solares (sección 2.2), centrales nucleares (sección 2.3), aeropuertos (sección 2.4), vías férreas (sección 2.5), puertos (sección 2.6) y embalses (sección 2.7). Así mismo también se ha incluido una instalación básica que contendría las características de todas aquellas instalaciones que no poseen suficientes características diferenciadoras como para justificar una sección propia (sección 2.1).

El segundo bloque del documento contiene las características principales necesarias para los robots encargados de la seguridad en estas instalaciones, centrándolo el interés en robots terrestres (sección 3.1) y robots aéreos (sección 3.2).

Además de las conclusiones del documento (capítulo 4), se incluye también un anexo con unas tablas resumen de las características de las principales instalaciones (anexo A).

Índice

Resumen	i
Índice	ii
Lista de Figuras	iii
Lista de Tablas	iv
1 Introducción	1
1.1 ¿Qué es una IC?	1
1.2 Clasificación de las IC	2
1.3 Justificación de un sistema robótico de vigilancia	3
1.4 Descripción del documento	4
2 Tipos de Instalaciones	5
2.1 IC básica. Elementos Comunes	5
2.2 IC Solar	9
2.3 IC Nuclear	13
2.4 IC Transporte. Pistas de un aeropuerto	16
2.5 IC Transporte. Trazado de líneas férreas	19
2.6 IC Transporte. Puerto Marítimo	22
2.7 IC Hidráulica. Presa y embalses	25
3 Características de los robots	29
3.1 Robots Terréstres. UGV	29
3.2 Robots Aéreos. UAV	35
4 Conclusiones	39
4.1 Características de las IC	39
4.2 Características de los robots	40
A Tablas resumen	41
A.1 Tablas resumen de las características de las ICE	41
Referencias	49

Lista de Figuras

2.1	Ejemplo de IC básica	5
2.2	Vista aérea de una planta solar	9
2.3	Disposición y detalle de los elementos internos de una planta solar	11
2.4	Ejemplo de IC Nuclear	13
2.5	Ejemplo de IC Transporte; pistas de un aeropuerto.	16
2.6	Vista aérea de la pista de un aeropuerto	18
2.7	Ejemplo de IC Transporte; líneas férreas.	19
2.8	Vista aérea de un tramo de línea férrea	20
2.9	Ejemplo de IC Puerto Marítimo	22
2.10	Situación relativa del puerto con respecto al núcleo urbano	23
2.11	Ejemplo de contenedores de mercancías	24
2.12	Ejemplo de IC Hidráulica; embalse de El Atazar	25
3.1	Ejemplo de un UGV	29
3.2	Diferentes tipos de tracción	30
3.3	Diferentes configuraciones de la base robótica Pioneer 3-AT	34
3.4	Ejemplo de un UAV	35
3.5	Diferentes configuraciones del quadrotor <i>Pelican</i>	37

Lista de Tablas

2.1	Evaluación de los factores de riesgo para las instalaciones solares	9
2.2	Evaluación de los factores de riesgo para las instalaciones nucleares	13
2.3	Evaluación de los factores de riesgo para un aeropuerto.	16
2.4	Evaluación de los factores de riesgo para una línea férrea.	19
2.5	Evaluación de los factores de riesgo para un puerto marítimo.	22
2.6	Evaluación de los factores de riesgo para un embalse.	25
A.1	Resumen características ICE solar	42
A.2	Resumen características ICE nuclear	43
A.3	Resumen características ICE Transporte; pistas de un aeropuerto	44
A.4	Resumen características ICE Transporte; líneas férreas	45
A.5	Resumen características ICE Transporte; puerto marítimo	46
A.6	Comparativa de características de todos los tipos de ICE	47

1 Introducción

En este capítulo se definirán y caracterizarán las infraestructuras críticas, así como se justificará la conveniencia de la utilización de un sistema robótica de seguridad en la vigilancia de alguna de estas infraestructuras.

1.1 ¿Qué es una IC?

Las Infraestructuras Críticas (IC) son aquellas instalaciones, redes, servicios y equipos físicos y de tecnología de la información cuya interrupción o destrucción pueden tener una repercusión importante en la salud, la seguridad o el bienestar económico de los ciudadanos o en el eficaz funcionamiento del gobierno del Estado. En este caso se trabajará con aquellas IC que se consideren de exteriores; es decir, aquellas con un perímetro propio y cuya vigilancia haya de realizarse en el exterior.

Las infraestructuras críticas están presentes en numerosos sectores de la economía y pueden no ser “infraestructuras” en el sentido estricto de la palabra sino redes o cadenas de suministro. Como ejemplo de infraestructuras críticas la UE cita los siguientes [1]:

- **Centrales y redes de energía:** electricidad, producción de petróleo y gas, instalaciones de almacenamiento y refinerías, sistemas de transmisión y distribución.
- **Tecnología de comunicaciones:** telecomunicaciones, sistemas de radiodifusión, programas informáticos, soporte físico y redes, incluido Internet.
- **Finanzas:** banca, valores e inversión.
- **Salud:** hospitales, centros de atención sanitaria y de suministro de sangre, laboratorios y empresas farmacéuticas, búsqueda y rescate, servicios de urgencia.
- **Alimentación:** seguridad alimentaria, medios de producción, mayoristas e industria alimentaria.
- **Agua:** embalses, almacenamiento, tratamiento y redes.
- **Transporte:** aeropuertos, puertos, instalaciones intermodales, ferrocarril, redes de transporte público y sistemas de control de tráfico.
- **Mercancías peligrosas:** Producción, almacenamiento y transporte de materiales químicos, biológicos, radiológicos y nucleares.
- **Estado:** servicios críticos, instalaciones, redes de información, activos, sitios y monumentos principales.

1.2 Clasificación de las IC

Existen numerosos sistemas de clasificación para las IC y, aunque no es objeto de este documento analizar y describir cada uno de ellos, si es necesario describir y justificar el sistema utilizado en este documento.

En este documento se ha optado por presentar una serie de infraestructuras “tipo” con características suficientemente diferenciadoras que obligarían a la implantación de un sistema robótico de vigilancia con diferencias significativas. En el capítulo 2 se describen las características físicas de estas instalaciones, centrandose en interés en aquellas características que influirían de manera decisiva en el diseño de un sistema robótico de seguridad.

Existe una distinción entre los tipos de IC incluidos en el capítulo 2, ya que el primer tipo de instalación descrito no se corresponde con un tipo concreto de instalación. La instalación básica descrita en la sección 2.1 contiene las características físicas de muchas IC que no tienen suficientes características distintivas que afecten en el diseño de un sistema de seguridad.

Otro sistema usado para la clasificación de las IC es el nivel de riesgo que presenta una determinada infraestructura ante un ataque. Este sistema tiene gran utilidad a la hora de decidir qué infraestructura es más necesario vigilar pero no aporta muchos datos a la hora del diseño del sistema de vigilancia. Por esta razón no se ha utilizado para clasificar las IC en este documento. Sin embargo si es útil conocer el nivel de riesgo de cada una de las infraestructuras puesto que esta caracterización proporciona información sobre el nivel de perfección y redundancia que debe alcanzar el sistema de vigilancia. La UE ha definido tres factores principales de riesgo que se describirán en el siguiente punto. Además, hay que señalar que esta caracterización se ha usado en cada una de las IC descritas en este documento para evaluar su nivel de riesgo ante un ataque.

1.2.1 Caracterización del nivel de riesgo para una IC

Se definen tres factores de identificación de una infraestructura crítica potencial.

- **Alcance:** la pérdida de un elemento de infraestructura crítico se mide por el tamaño del área geográfica que pudiera verse afectada por su pérdida o indisponibilidad. Se definen los siguientes niveles: internacional, nacional, provincial/territorial o local.
- **Magnitud:** el grado del impacto o de la pérdida puede evaluarse como nulo, mínimo, moderado o principal. Además, se definen los siguientes criterios en los que podría evaluarse la magnitud del impacto potencial.
 - *Impacto público:* cantidad de población afectada, pérdidas de vidas, enfermedades, lesiones graves y evacuación.
 - *Económico:* efecto PIB, volumen de pérdida económica y/o degradación de productos o servicios.
 - *Ambiental:* impacto en el lugar y alrededores.
 - *Interdependencia:* con otros elementos de infraestructura críticos.

– *Político*: confianza en la capacidad de las administraciones públicas.

- **Efectos en el tiempo**: estos criterios determinan en qué plazo la pérdida de un elemento podría tener un impacto importante (inmediato, 24-48 horas, una semana, otros).

1.3 Justificación de un sistema robótico de vigilancia

La seguridad de grandes infraestructuras es una constante preocupación por parte de los responsables de seguridad de gobiernos y empresas. Sin embargo, la necesidad del empleo de robots en este tipo de aplicaciones que hasta ahora habían estado cubiertas por sistemas basados en sensores y vigilantes humanos no ha sido todavía justificada.

A continuación se describen las principales razones por las que se considera que un sistema de seguridad robótico puede aportar más fiabilidad y seguridad a los sistemas de vigilancia.

- **Reducción de riesgos para los vigilantes**: Este es la ventaja más inmediata de la utilización de robots para las tareas de vigilancia de una instalación. Concentrando la intervención humana en uno o varios operadores (en función de la complejidad de la instalación) situados en la estación central, se eliminan los riesgos a los vigilantes.
- **Intensificación**: Un sistema robótico permite la realización de un mayor número de rondas de vigilancia y una vigilancia más exhaustiva en cada ronda.
- **Mejor percepción**: Los sensores utilizados en los sistemas robóticos son en su mayor parte más precisos que los sistemas sensoriales de los vigilantes humanos. Además se puede equipar estos robots con sensores que añaden información que no podrían obtener vigilantes humanos, como por ejemplo información de temperatura obtenida con cámaras termográficas.
- **Movilidad**: Un sistema basado en sensores estáticos centrará la vigilancia en una determinada zona que puede ser más o menos amplia. Sin embargo, con un sistema de robots es posible centrar la vigilancia en determinadas zonas que podrían no estar cubiertos por los sensores. Además el uso de robots también posibilita ampliar la zona vigilada en determinados instantes.
- **Tareas de inspección**: Un sistema robótico de vigilancia puede usarse también para tareas de inspección, asignando diferentes prioridades a cada tipo de tarea, aumentando así la efectividad del sistema y contribuyendo a mejorar la seguridad de la instalación.

Combinando un sistema robótico con la red de sensores de vigilancia preexistentes se pueden obtener unos niveles de seguridad y efectividad mucho más altos a cualquier sistema anterior.

1.4 Descripción del documento

Este documento se compone de dos partes principales. En el capítulo 2 se describen las características físicas de diferentes tipos de IC que se han considerado susceptibles de soportar la introducción de un sistema de seguridad. Estas infraestructuras tipos son centrales solares (sección 2.2), centrales nucleares (sección 2.3) , aeropuertos (sección 2.4), vías férreas (sección 2.5), puertos (sección 2.6) y embalses (sección 2.7). Así mismo también se ha incluido una instalación básica que contendría las características de todas aquellas instalaciones que no poseen suficientes características diferenciadoras como para justificar una sección propia (sección 2.1).

La segunda parte del documento (capítulo 3) describe las características de las que deberían disponer los distintos tipos de robots para poder diseñar con éxito un sistema de vigilancia robótico. Se han separados los robots entre robots terrestres (*Unmanned Ground Vehicle* - UGV - sección 3.1) y robots aéreos (*Unmanned Aerial Vehicle* - UAV - sección 3.2).

2 Tipos de Instalaciones

En esta sección se describirán las diferentes instalaciones consideradas, concentrando el interés en las características que afectarían al diseño de los sistemas de seguridad robóticos.

2.1 IC básica. Elementos Comunes



Figura 2.1: Vista aérea del almacén de StockUno en Rivas Vaciamadrid, Madrid.

En esta sección se va a analizar una IC básica cuyos elementos y disposición se han considerado más típicos dentro de la clasificación de IC. Como ejemplos de este tipo de instalaciones se pueden mencionar almacenes industriales y militares, centrales térmicas, centros neurálgicos de comunicaciones y algunos monumentos nacionales.

Aunque se van a describir las características de este tipo de instalaciones de forma conjunta, esto no quiere decir que tengan la misma prioridad para la vigilancia de las IC de un país. Cada una de las instalaciones tendrá unos factores de impacto diferentes en función de la actividad que se realice en ella, definidos en el documento de la Comunidad Europea [1]. Sin embargo, a efectos de la organización de un sistema de vigilancia multirobótico todas estas instalaciones poseen suficientes características comunes como para describirlas en un solo punto. Hay que tener en cuenta que no se exigirá el mismo nivel de precisión a los sistemas de vigilancia en un centro logístico de transporte que en un almacén de sustancias peligrosas, aunque sus características físicas sean similares.

2.1.1 Características físicas de la ICE

En las características físicas se encuentran definidos todos los parámetros de la apariencia y disposición externa de una IC que pueden afectar al diseño de un sistema de seguridad robótico. Se han definido cuatro categorías (entorno, terreno, acceso y elementos internos) que permiten caracterizar una IC de forma sencilla.

En este caso sólo se describirán aquellas características que tienen en común todas las IC para las que se pretende diseñar un sistema multirobótico de seguridad. Algunas instalaciones compartirán todas estas características y además tendrán particularidades propias que las hacen susceptibles de una descripción más detallada, como por ejemplo las instalaciones solares que se describen en la sección 2.2.

Situación de la ICE. Entorno

Las localizaciones para las IC pueden ser muy diferentes pero en general se encuentran situadas fuera de los núcleos de población. Se pueden encontrar tanto en polígonos industriales a las afueras de las ciudades como en terrenos mucho más alejados de núcleos urbanos.

Se descartan IC que estén integradas en núcleos urbanos puesto que el tránsito continuo de personas y vehículos dificultarían mucho el diseño de un sistema robótico de vigilancia eficiente. Se han elegido tipos de infraestructuras con bordes claramente delimitados en los que se puede hacer un plan de vigilancia más detallado.

Terreno. Superficie, tipo e inclinación

El terreno dependerá del tipo de instalación, pero existen algunas características comunes que se pueden destacar. El tamaño no es uno de estos parámetros comunes puesto que se puede tratar de una central térmica de 20Ha a un almacén cuyas instalaciones ocupen 200Ha.

En general parte o toda la instalación estará asfaltada con vías para circular en su interior. Dependiendo del tamaño estas vías serán mayores o menores y estarán mejor o peor señalizadas. En el caso de instalaciones muy alejadas de núcleos urbanos e integradas en terrenos rurales, parte de las vías dentro de la instalación serán de tierra compactada.

Generalmente no existirán grandes pendientes dentro de la instalación, aunque si pueden darse varios niveles de alturas o que la instalación conste de dos partes con un gran desnivel entre ellas. Este parámetro habrá que tenerlo en cuenta cuando se defina el sistema de tracción.

Acceso. Entradas, salidas y perímetro

El número de entradas y salidas también dependerá mucho del tipo de instalación. Un almacén de residuos tóxicos tendrá una sola entrada con un control muy exhaustivo, mientras que un centro logístico de transporte de mercancías tendrá, debido al gran número de vehículos que entran y salen, una entrada y una salida como mínimo puede que incluso más.

El perímetro es una característica en la que casi todas las IC coinciden, estando definido en la mayor parte de los casos por una valla metálica que bordea toda la instalación y evita la entrada de intrusos. En las infraestructuras más críticas está valla puede pasar a ser un muro de construcción más sólida, y en algunos casos como las centrales nucleares pueden existir varias vallas o muros en múltiples capas para dificultar el acceso a personas extrañas a la instalación.

Elementos Internos

Los elementos internos de una IC pueden ser de diversos tipos en función de la actividad que desarrolle, pero existen elementos comunes a todas ellas.

- *Edificios:* Serán de diferentes alturas en función de su uso (zonas de oficinas, estaciones de control, naves de almacenaje) y con una planta normalmente rectangular. Como se trata un sistema de seguridad para infraestructuras

exteriores, el contenido y la disposición del interior de los edificios no será de gran importancia para el diseño del sistema. Si hay que tener en cuenta que en una misma instalación puede haber edificios con mayor riesgo que otros cuyo exterior habrá que vigilar con mayor precisión.

- *Torres:* Están presentes en muchas instalaciones industriales como por ejemplo en las centrales de generación de energía (térmicas, nucleares y solares, cada una con un tipo distinto de torre) y en los centros de comunicación. Las torres serán de distinto tipo pero a efectos de seguridad se tratarán en todos los casos como elementos verticales “infinitos” puesto que generalmente las torres serán lo suficientemente altas para que los UAV tengan que rodearlas.
- *Cuerpos electrógenos:* En muchas de las IC antes descritas existen grupos electrógenos que se encargan de transformar la electricidad para su suministro a la red de transporte (en el caso de una central eléctrica) o a la instalación industrial (en el caso de una fábrica o almacén robotizado). Estas zonas producirán muchas interferencias electromagnéticas en las comunicaciones de los robots por lo que es necesario conocer su ubicación previamente.
- *Otros elementos:* Elementos comunes en algunas infraestructuras críticas pueden ser: depósitos, etc..

2.1.2 Requisitos específicos para la vigilancia de la IC

La correcta protección de una IC pasa por vigilar la instalación contra amenazas externas e internas. El presente documento, por el proyecto en que se encuentra enmarcado, analizará con más detalle las amenazas externas, puesto que se pretende diseñar un sistema de vigilancia y seguridad multirobótico. Para prevenir fallos internos todas las instalaciones tienen medidas de control y autodiagnóstico que aumentan en complejidad a medida que la instalación es más crítica. A pesar de esto, aprovechando las capacidades intrínsecas de un robot (multitarea y capacidad autónoma de desplazamiento y toma de decisiones); se pueden integrar dentro de las funciones de los robots algunas capacidades automáticas de inspección. Estas tareas tendrían siempre menos prioridad que las tareas específicas de vigilancia, pero pueden constituir un apoyo a las medidas de auto-control ya existentes.

A continuación se describen las principales amenazas externas contra las que hay que diseñar un sistema de vigilancia y algunas de las tareas de inspección que se le pueden asignar a un robot de seguridad.

Vigilancia contra amenazas externas

Las principales amenazas externas que hay que considerar en el diseño de un sistema de seguridad multirobótico son las siguientes:

- *Entrada de intrusos:* Debe ser una de las prioridades de cualquier sistema de vigilancia evitar la entrada en la planta de personas ajenas a la instalación. Esto cumple el doble objetivo de evitar robos y ataques contra la instalación.

- *Integridad del perímetro:* En el caso de no haber detectado la entrada de ningún intruso también es muy importante detectar brechas en el perímetro, como por ejemplo roturas en la valla.
- *Elementos extraños:* Puede ser importante detectar determinados elementos extraños dentro de la instalación. Dependerá del tipo de instalación la definición de qué es un elemento extraño dentro de la misma. Unido a sensores químicos puede servir para la detección de explosivos.
- *Amenazas invisibles:* Incorporando al robot sensores adicionales se pueden detectar ataques que normalmente son “invisibles” a los sensores tradicionales. Como ejemplo se pueden citar amenazas biológicas, químicas, radioactivas, etc. Hay que señalar, sin embargo, que este tipo de ataques suelen estar dirigidos a zonas de alta densidad humana, característica que cumplen las IC por tratarse generalmente de instalaciones industriales separadas de los núcleos urbanos.
- *Detección de incendios:* Se pueden utilizar los robots como un sistema secundario de detección de incendios que complemente a los sistemas tradicionales.

Vigilancia contra funcionamiento erróneos. Tareas de inspección.

Existen numerosas tareas de inspección que se pueden realizar con un sistema robótico, pero en general dependerán mucho del tipo de IC en el que se haya implementado el sistema robótico. En las siguientes secciones se darán ejemplos particulares de tareas de inspección que pueden llevarse a cabo con un sistema robótico de vigilancia mientras se desarrollan las tareas específicas de seguridad.

2.1.3 Requisitos específicos para los robots

Las características básicas que han de tener los robots para poder usarlos en un sistema de seguridad se describen con mayor detalle en la sección 3. En la descripción del resto de instalaciones se describirán las características específicas que habría que tener en cuenta para diseñar un robot que realizase tareas de vigilancia en ese tipo de IC.

2.2 IC Solar



Figura 2.2: Vista aérea de la planta solar de Abengoa Solar en Sanlúcar la Mayor, Sevilla.

Este tipo de IC son centrales energéticas que aprovechan la energía solar con diferentes métodos. Hay dos tipos principales, instalaciones fotovoltaicas, que convierten la energía solar en energía eléctrica de forma directa; e instalaciones fototérmicas, que convierten la energía solar en calor y se la transmiten a un fluido. En ambos casos las instalaciones poseen suficientes elementos comunes como para tratarlas como un sólo tipo de IC a efectos de la seguridad y la vigilancia.

Según los parámetros fijados por la Comisión de la Comunidad Europea [1], al tratarse de centrales productoras de energía este tipo de instalaciones quedan dentro del ámbito de aplicación del proyecto. La UE define tres factores de identificación de una infraestructura crítica potencial, cuya evaluación se resume en la Tabla 2.1.

Analizando la Tabla 2.1 se puede concluir que las IC solares no tienen un nivel alto de riesgo ante un ataque exterior. Esto no quiere decir que haya que excluirlas de una vigilancia basada en robots. Sus características físicas, como se verá en el punto 2.2.1, las hacen muy adecuadas para la implementación de este tipo de sistemas de vigilancia. Además, aunque su parada no afecte de forma inmediata al público en general, pueden causar graves perjuicios económicos a las empresas propietarias. Estos perjuicios producirían efectos indeseables a largo plazo, como subida en las tarifas eléctricas, pérdida de competitividad, etc.

Factor de identificación	Evaluación	Comentario
Alcance	Local	Limitado al entorno cercano de la planta.
Magnitud del impacto		
Público	Nulo	Al existir respaldo basado en centrales térmicas, no afecta al público en general
Económico	Mínimo/Moderado	Dependiendo de la potencia instalada y de los daños ocasionados
Ambiental	Mínimo	Pueden producirse vertidos de fluidos perjudiciales pero muy localizados en la planta
Interdependencia	Moderado	Afecta al resto de elementos conectados a la red eléctrica.
Político	Mínimo	Al ser instalaciones privadas el gobierno no es responsable directo
Efectos en el tiempo	Inmediato	Es necesaria la puesta en funcionamiento de una central térmica de respaldo

Tabla 2.1: Evaluación de los factores de riesgo para las instalaciones solares

2.2.1 Características físicas de la IC

En esta sección se describirán todos los elementos físicos que componen la central, cuya disposición y composición afectarán al diseño de los sistemas de vigilancia encargados de garantizar la seguridad e integridad de toda la instalación.

Situación de la IC. Entorno

Este tipo de centrales se encuentran normalmente alejadas de grandes núcleos urbanos, aunque disponen de buenas conexiones y carreteras de acceso al complejo. Debido al tipo de central se encuentran normalmente situadas en zonas con pocas precipitaciones y un porcentaje muy alto de días soleados; es decir, zonas donde en verano pueden darse temperaturas muy altas.

Como ejemplo se puede citar la plataforma solar *Solucar* [2], situada a 5km de Sanlúcar la Mayor y a 25 km de Sevilla.

Terreno. Superficie, tipo e inclinación

Se trata de instalaciones de gran extensión (60-90-120 ha) en las que la superficie será en su mayor parte tierra compactada, aunque dependerá de la localización exacta de la planta. En el año 2009 se estimaba que había en España 1994000 m^2 de instalaciones solares térmicas con una potencia total de 1305 MWh [3].

Analizando los desniveles que pueden estar presentes, se trata de terrenos muy planos en los que prácticamente no hay desniveles importantes. Pueden existir varios niveles dentro de una misma planta, en cuyo caso existirían rampas para pasar de un nivel a otro, por lo que los puntos para moverse entre niveles serán limitados.

Como ejemplos de tipos de terrenos, se recurre a plantas de Abengoa Solar; que en Andalucía serán en su mayor parte de tierra compactada con algo de polvo; en Abudabi será desierto con dunas y arena muy suelta; y en EEUU un desierto de arena y roca.

Acceso. Entradas, salidas y perímetro

Las plantas solares de este tipo suelen tener una o dos entradas salidas con vigilancia durante todo el día, por lo que no suponen un punto crítico. El perímetro consta en su mayor parte de una valla metálica simple que delimita el área de la planta e impide el acceso de personas ajenas a la instalación así como de animales.

Normalmente no existe una carretera exterior que bordee toda la instalación que podría ser utilizada para labores de vigilancia aunque si se dispone de caminos internos entre todos los elementos de la planta que permiten el desplazamiento entre todas las zonas del complejo. Estos caminos serán en su mayor parte de tierra compactada aunque algunas zonas (aparcamientos, oficinas de control, etc.) podrán estar asfaltadas.

Elementos Internos

En este tipo de instalación los elementos más comunes no son edificios sino espejos planos y cilíndricos que son los encargados de reflejar la luz solar. La disposición de estos elementos en una planta real puede observarse en la Figura 2.3a.

Los helióstatos pueden ser planos ($120m^2$ a unos 4m de altura, Fig. 2.3b) o filas de helióstatos cilíndricos (longitud variable a 1.5m de altura, Fig. 2.3c). La separación

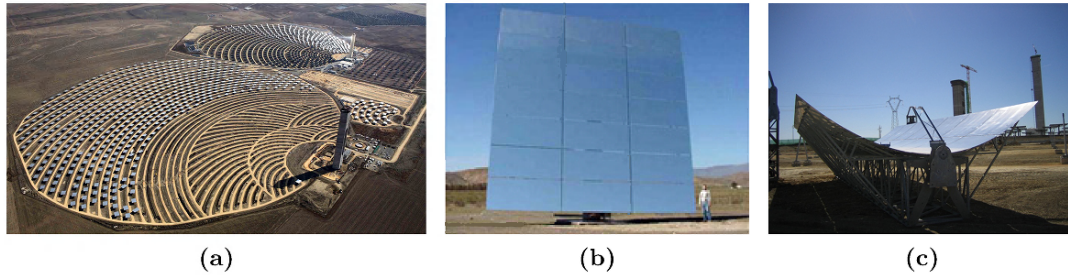


Figura 2.3: En (a) se puede observar la disposición de todos los elementos de la planta; mientras que en (b) se observa un heliostato plano y en (c) uno cilíndrico.

entre los elementos suele ser de 1.5-2m, por lo que existe espacio suficiente para que el robot maniobre fácilmente.

2.2.2 Requisitos específicos de la vigilancia de la IC

A la hora de evaluar los requisitos de vigilancia hay que dividir las posibles causas de fallo de una central solar en aquellas debido a causas externas (robos, ataques terroristas, etc...) de aquellas debidas a causas internas (errores humanos, sobrecalentamientos, etc...). Además sería necesario analizar las medidas de seguridad ya existentes y su posible integración con los nuevos sistemas robóticos.

Vigilancia contra amenazas externas

En este caso, al ser los elementos críticos que componen la planta muy voluminosos, no existe un riesgo grande de robo de heliostatos. Sin embargo, otros elementos menos críticos (como por ejemplo los cables de cobre) que si pueden ser susceptibles de ser robados. Por lo tanto se impone la necesidad de implementar una vigilancia contra intrusos en todo el perímetro.

Además es necesaria la detección de elementos extraños colocados en la planta (paquetes, mochilas, etc). Esto serviría para la prevención de ataques terroristas, aunque como se mencionó anteriormente no es una instalación de alto riesgo.

Vigilancia contra funcionamiento erróneos. Tareas de inspección.

Todas las plantas de este tipo cuentan con numerosas medidas de control y prevención para evitar fallos derivados de una mala operación de la planta. Sin embargo, en instantes determinados, se hace necesaria la toma de medidas in-situ. Estas tareas pueden automatizarse si se incluyen algunos sensores específicos en los robots, aunque no serían críticos desde un punto de vista de seguridad. Se pueden señalar dos ejemplos:

- Medición de temperatura de algunos puntos en tubo central de paneles cilíndricos.
- Medición de suciedad en los espejos con sensor especializado (se necesitaría un brazo robótico).

2.2.3 Requisitos específicos para los robots

Para este tipo de instalaciones sería adecuada la utilización de robots terrestres y aéreos, combinándolos de forma efectiva para cubrir el mayor porcentaje posible de la planta.

No existen limitaciones o características específicas en cuanto a las características físicas del robot para la vigilancia de instalaciones solares. Si sería necesaria una protección contra calor “extremo”, sobre todo en los meses de verano y sobre todo para los robots aéreos que pueden verse afectados por la reflexión de los espejos.

En cuanto a los sensores para la vigilancia tampoco hay ningún requisito especial, aunque habría que tener en cuenta las condiciones lumínicas y de temperatura durante las horas de funcionamiento de la central dificultarían la utilización de sensores termográficos o infrarrojos.

2.3 IC Nuclear



Figura 2.4: Vista aérea de la central nuclear de Cofrentes, Valencia. de identificación de una infraestructura crítica potencial, cuya evaluación se resume en la Tabla 2.2.

Este tipo de IC son centrales energéticas basadas en el empleo de materiales fisionables que proporcionan calor mediante reacciones nucleares. Este calor se emplea en un ciclo termodinámico convencional para mover un alternador y producir energía eléctrica.

Según los parámetros fijados por la Comisión de la Comunidad Europea [1], al tratarse de centrales productoras de energía este tipo de instalaciones quedan dentro del ámbito de aplicación del proyecto. La UE define tres factores

Analizando la Tabla 2.2 se puede concluir que las IC nucleares tienen un nivel de riesgo elevado ante un ataque exterior. El uso de un sistema de seguridad basado en múltiples robots está plenamente justificado y puede proporcionar soporte adicional a los sistemas que se emplean actualmente que están basados en vigilantes humanos y un sistema fijo de sensores.

En el punto 2.3.1 se describen las características físicas que afectan al diseño de un sistema de seguridad robótico para una central nuclear. Hay que tener en cuenta que un ataque en una central de este tipo supondría efectos devastadores en toda la zona y posiblemente en todo el país y en los países colindantes.

Factor de identificación	Evaluación	Comentario
Alcance	Nacional Inter-nacional	Un ataque puede provocar efectos que afecten a todos los países cercanos
Magnitud del impacto		
Público	Principal	Gran porcentaje de la población afectada, posibilidad de pérdida de vidas y enfermedades a largo plazo.
Económico	Moderado	Degradación de servicios en la zona afectada y posible impacto en el PIB.
Ambiental	Principal	La zona afectada quedaría inaccesible por la radiación y posibles efectos en zonas lejanas debido a la lluvia radioactiva.
Interdependencia	Principal	Efectos negativos en el suministro de energía
Político	Moderado	Efectos negativos en la confianza en las administraciones públicas.
Efectos en el tiempo	Inmediatos y muy prolongados	Los efectos de la radiación pueden durar décadas

Tabla 2.2: Evaluación de los factores de riesgo para las instalaciones nucleares

2.3.1 Características físicas de la IC

Situación de la IC. Entorno

Se encuentran alejadas de grandes núcleos urbanos, aunque pueden existir pequeñas ciudades o pueblos cerca. Debido a la naturaleza de la central tiene un impacto muy grande en caso de accidente o ataque.

La selección del emplazamiento de una central es, además, un proceso muy exhaustivo, teniendo en cuenta sus características geológicas, sísmicas, hidrológicas y meteorológicas. Se realizan una serie de análisis, sondeos y observaciones para diseñar la instalación de modo que soporte los daños producidos por terremotos, inundaciones, cargas del viento y efectos adversos originados por otros fenómenos.

Terreno. Superficie, tipo e inclinación

Se trata de plantas bastante extensas, aunque dependerá de cada central y de cuántos reactores tenga. Como ejemplo se pueden citar las centrales de Vandellós (60 Ha) y la de Almaraz (110 Ha)

El terreno será plano, asfaltado en la mayor parte de la planta. Pueden existir caminos de tierra compactada en el perímetro más exterior. No habrá desniveles importantes dentro de la planta, como mucho pendientes del 1-2%.

Entradas, salidas y perímetro

Dependiendo de la central existirán una o dos entradas a la planta, con varios controles a lo largo de cada entrada. Debido al tipo de instalación es muy difícil acceder a información concreta sobre las medidas de seguridad y los tipos de sensores existentes, puesto que es información clasificada. Sin embargo, se puede afirmar que existen varios niveles de perímetro. Las instalaciones cuentan con al menos dos vallas, con una zona de tierra “virgen entre ellas. En algunas de las centrales parte del perímetro da al mar, aunque también habrá separación física en esa parte del perímetro.

Elementos Internos

La mayor parte de la instalación está compuesta por edificios, torres, etc.; por lo que la vigilancia se centrará sobre todo al perímetro. Pueden existir varias zonas dentro de la planta con diferentes niveles de acceso para el personal por lo que puede ser necesario un sistema de identificación de los propios trabajadores.

2.3.2 Requisitos específicos de la vigilancia de la IC

Los requisitos específicos de vigilancia de esta central son muy similares a los requisitos de vigilancia de una instalación básica, si bien hay que señalar que es necesaria una mayor precisión y nivel de detalle debido al tipo de instalación.

Hay que tener en cuenta que en las instalaciones nucleares todos los sistemas deben estar duplicados por lo que habría que tenerlo en cuenta en la tarea de diseño. Si todo el sistema está duplicado se podría utilizar la duplicidad para proporcionar mejores medidas mientras no fuese necesaria la entrada en funcionamiento de los elementos duplicados.

Vigilancia contra amenazas externas

Las amenazas externas contra las que hay que diseñar el sistema de seguridad son las básicas para cualquier IC: prevención del acceso de intrusos y detección de elementos extraños.

En este caso, al existir una zona intermedia "libre" alrededor de todo el perímetro esta tarea es más sencilla. Se puede diseñar un sistema de detección y caracterización de objetos móviles dentro de esa zona para evitar el acceso de cualquier persona o elemento extraño dentro del complejo.

En todas las centrales ya existen métodos tradicionales de vigilancia, pero su diseño es información clasificada a la que no se puede acceder de forma libre.

Vigilancia contra funcionamiento erróneos. Tareas de inspección.

Las centrales nucleares disponen de complejos sistemas de inspección para garantizar que no se produzcan fallos accidentales o provocados. Todas estos sistemas se encuentran en el interior de la planta por lo que no se incluyen en el ámbito de aplicación del proyecto.

Se podría contemplar equipar los robots con contadores geiger para detectar posibles fugas en el exterior del complejo, aunque es de suponer que ya habrá contadores situados en numerosos puntos de la instalación.

2.3.3 Requisitos específicos para los robots

Para este tipo de instalación se usarán robots estándar con requisitos similares a los definidos para instalaciones básicas. Existen algunas particularidades.

En la zona intermedia entre las dos vallas es posible que el terreno no sea tierra compactada ni asfalto sino que se trata de tierra con bastantes desniveles por lo que puede hacerse necesaria la utilización de tracción basada en orugas, si se quiere incluir esa zona en la zona de inspección de los robots.

En cuanto a los tipos de robots, se utilizarán sobre todo robots aéreos y terrestres, aunque se puede plantear el uso de robots acuáticos y submarinos en caso de existir una zona del perímetro colindante con el mar.

2.4 IC Transporte. Pistas de un aeropuerto



Figura 2.5: Vista de las pistas del aeropuerto de Barajas, Madrid.

Los aeropuertos son centros de transporte y como tales quedan englobados en la definición de IC que hace la UE [1]. Dentro de un aeropuerto existen múltiples zonas susceptibles de ser atacadas: terminales, torres de control, hangares, pistas, etc. En esta sección se centrará el interés en las pistas de aterrizaje y despegue, puesto que son una zona con suficientes elementos diferenciadores para justificar una sección independiente. El resto de elementos también han de ser vigilados; sin embargo las terminales son instalaciones con gran afluencia de público y o son adecuadas para una vigilancia robótica, y los hangares se asemejan mucho a una instalación básica.

En la tabla 2.3 se resume la evaluación de los parámetros definidos por la UE para la categorización de una IC. Se puede observar que se trata de una IC de riesgo moderado. Puesto que en un país suele haber varios aeropuertos, la inutilización de uno de ellos no produciría un impacto global en la economía del país. Sin embargo, si puede afectar al transporte de pasajeros de una determinada zona del país.

Las características físicas de las pistas de un aeropuerto, sobre todo aquellas que afectan al diseño de un sistema robótico de seguridad, se describen en el punto 2.4.1.

Factor de identificación	Evaluación	Comentario
Alcance	Local	La zona afectada se limitaría al aeropuerto
Magnitud del impacto		
Público	Moderado	Puede dejar incomunicado por aire a un gran número de personas
Económico	Moderado	Efectos negativos en el PIB, sobre todo si el cierre del aeropuerto se prolonga mucho en el tiempo
Ambiental	Mínimo	No producirá efectos a largo plazo ya que no hay materiales peligrosos.
Interdependencia	Moderado	Afectará a otros aeropuertos, pudiéndose producir la saturación
Político	Mínimo	Efectos mínimos en las administraciones públicas.
Efectos en el tiempo	Inmediato y a medio plazo	La inutilización de una pista puede tardar semanas en repararse.

Tabla 2.3: Evaluación de los factores de riesgo para un aeropuerto.

2.4.1 Características físicas de la IC

En esta sección se describirán las características físicas más importantes de las pistas de un aeropuerto, sobre todo aquellas que afectarán directamente al diseño de un sistema robótico de seguridad y vigilancia.

Situación de la IC. Entorno

Se encuentran normalmente en las afueras de grandes núcleos urbanos. Existen algunos aeropuertos integrados dentro de alguna ciudad, aunque no se da el caso en España. Generalmente hay bastante espacio “libre” alrededor, por lo que no hay que preocuparse por daños al entorno en caso de algún ataque.

Terreno. Superficie, tipo e inclinación

La superficie de las pistas depende mucho del aeropuerto, pero se puede hacer una estimación de alrededor de 800-900Ha por pista operativa del aeropuerto, aunque esta cantidad baja a medida que aumenta el número de pistas. Como ejemplo se puede citar el aeropuerto de Madrid-Barajas, que dispone de 3100Ha de terreno con 4 pistas operativas. Esto puede suponer un total de 30-40km de perímetro, lo que la convierte en una de las instalaciones más extensas de las que se tratarán en este proyecto.

El terreno será asfaltado en todo el recinto con múltiples señalizaciones y zonas prohibidas por las que no se puede circular. No habrá inclinaciones significativas dentro del recinto.

El terreno exterior al perímetro puede presentar inclinaciones significativas y no estará, a priori acondicionado para el tránsito de ningún tipo de vehículos.

Entradas, salidas y perímetro

Existen numerosas entradas y salidas a la zona de pistas. Cada una de ellas tendrá su propio sistema de seguridad en función de si es una entrada para personal del aeropuerto, operarios, zona de acceso de pasajeros, etc.

El perímetro está compuesto en su mayor parte por una valla metálica al lado de una carretera interior para personal del aeropuerto. Además, entre la carretera y las pistas existe una zona de tierra 100m de ancho. En la Figura 2.6 se puede observar una vista aérea de la separación entre la pista de aterrizaje y la carretera que bordea el perímetro del aeropuerto.

Elementos Internos

No existen elementos internos en las pistas de aterrizaje puesto que se necesita una gran visibilidad. Además cualquier obstáculo supondría un riesgo para la correcta operación de los vuelos en las pistas.

2.4.2 Requisitos específicos para la vigilancia de la ICE

Las tareas de vigilancia de las pistas de un aeropuerto son muy similares a las de las IC básicas descritas en el punto 2.1.2, con algunas particularidades.



Figura 2.6: Vista aérea de la separación entre la pista de aterrizaje y la carretera perimetral en el aeropuerto de Madrid-Barajas.

Vigilancia contra amenazas externas

En este caso no sólo hay que vigilar contra los posibles intrusos terrestres sino que además hay que prestar especial atención a cualquier objeto volador, ya que están completamente prohibidos los vuelos no autorizados en las cercanías del aeropuerto.

Vigilancia contra funcionamiento erróneos. Tareas de inspección.

En este caso no son aplicables las tareas de inspección puesto que prácticamente no hay elementos que inspeccionar dentro de las pistas. Si sería conveniente añadir al sistema robótico una funcionalidad adicional: la detección de elementos estáticos en las pistas de aterrizaje y despegue puesto que cualquier objeto, por pequeño que sea, puede provocar un accidente.

2.4.3 Requisitos específicos para los robots

Para este tipo de instalación existen dos características principales que hay que tener en cuenta. En primer lugar la distancia a recorrer por cada robot. Se trata de las IC con el perímetro más largo de todas las estudiadas y la autonomía de los robots ha de ser muy grande. En segundo lugar, pueden producirse problemas con las comunicaciones debido a interferencias con las del aeropuerto. Habrá que diseñar el sistema para que pueda operar en algunos periodos de tiempo o zonas determinadas sin comunicación con la estación central.

Además en ningún caso se podrán utilizar robots aéreos en este tipo de instalaciones puesto que la regulación aérea lo prohíbe.

2.5 IC Transporte. Trazado de líneas férreas



Figura 2.7: Vista de la línea férrea Barcelona-Madrid.

Las líneas férreas son, junto con los aeropuertos, otra de las grandes infraestructuras críticas en cuanto al transporte de pasajeros en masa se refiere. La vigilancia y seguridad de las estaciones de tren queda fuera del ámbito de este proyecto al tratarse de instalaciones muy integradas en núcleos urbanos y con gran afluencia de personas para las que el empleo de robots todavía no es adecuado. Sin embargo, la vigilancia y la monitorización de las líneas férreas si quedan dentro del campo de aplicación del presente proyecto.

La evaluación de las líneas férreas según los parámetros definidos por la UE [1] para las instalaciones de riesgo se encuentra en la tabla 2.4. Analizando esa tabla se puede concluir que las líneas férreas presentan un riesgo moderado ante un ataque y que la destrucción de varios kilómetros de vía, si bien es difícil de conseguir, podría afectar de forma muy negativa a una parte importante del país.

Las características físicas de este tipo de IC que afectarían al diseño de un sistema robótico de vigilancia se encuentran descritas en el punto 2.5.1.

Factor de identificación	Evaluación	Comentario
Alcance	Local	Limitado a la zona de línea férrea dañada
Magnitud del impacto		
Público	Moderado	Si se trata de líneas de transporte de pasajeros puede afectar a un gran número de personas. .
Económico	Moderado Principal	/ En líneas de transporte de mercancías puede afectar al correcto desarrollo de la actividad comercial en algunos sectores.
Ambiental	Mínimo	No producirá efectos a largo plazo ya que no hay materiales peligrosos.
Interdependencia	Moderado	Puede saturar otras líneas y sobre todo las carreteras
Político	Mínimo	Efectos mínimos en el las administraciones públicas.
Efectos en el tiempo	A corto plazo	Dependiendo del grado de destrozo, se suelen reparar rápidamente.

Tabla 2.4: Evaluación de los factores de riesgo para una línea férrea.

2.5.1 Características físicas de la IC

En esta sección se describirán las características físicas más importantes de una línea férrea, sobre todo aquellas que afectarán directamente al diseño de un sistema robótico de seguridad y vigilancia.

Situación de la ICE. Entorno

Las líneas férreas se encuentran situadas por toda la geografía española. Sin embargo, la zona de aplicación de un sistema de vigilancia robótico sería aquella situada en ámbitos rurales, puesto que los tramos de vías que atraviesan núcleos urbanos pueden ser vigilados con otros medios.

Terreno. Superficie, tipo e inclinación

La superficie no es en este caso un parámetro característico porque dependerá sobre todo de la longitud de cada tramo de línea férrea. Otro parámetro importante es el ancho de la vía más el terreno reservado a los lados, que en el caso de las líneas de alta velocidad es de 50m. En la Figura 2.8 se puede observar una vista aérea de un tramo de la línea de alta velocidad Madrid-Sevilla.



Figura 2.8: Vista aérea de un tramo de la línea de alta velocidad Madrid-Sevilla.

Entradas, salidas y perímetro

En este caso el concepto de entradas/salidas no es aplicable a las vías del tren puesto que no se trata de un recinto cerrado. En algunos casos ni siquiera existe una valla de separación entre las vías y el resto del entorno.

En las líneas de alta velocidad sí existe una valla metálica que separa las vías y además en algunas zonas un camino de tierra compactada a lo largo de todo el trayecto de las vías para permitir el acceso a los equipos de reparación.

Elementos Internos

Los únicos elementos a tener en cuenta dentro del trazado de la vía son los propios postes eléctricos que se encargan de suministrar energía al tren.

2.5.2 Requisitos específicos para la vigilancia de la ICE

La gran extensión de las vías dificulta mucho la implantación de un sistema de seguridad al uso. Esto quiere decir que no tiene sentido plantear un sistema que detecte intrusos dentro de la vía porque dependería de que justo intentasen acceder cuando el robot estuviese en esa determinada zona (muy poco probable) o de colocar robots que vigilaran todo el trazado (poco práctico económicamente). Por lo tanto se planteará otro tipo de vigilancia.

Sobre todo detección de roturas en la valla ya que es poco probable la detección in situ de los intrusos (debido a la gran extensión), aunque debería ser capaz de detectar objetos móviles fuera de las vías.

Vigilancia contra amenazas externas

Debido a que será muy difícil detectar las amenazas externas en el momento de producirse el sistema se deberá centrar en detectar roturas en las vallas exteriores que son indicadores de una intrusión.

Vigilancia contra funcionamiento erróneos. Tareas de inspección.

El sistema deberá detectar objetos colocados sobre la vía, tanto de forma intencionada como debido a posibles accidentes naturales (desprendimientos, ramas de árboles, etc.).

2.5.3 Requisitos específicos para los robots

En este caso los robots más adecuados serían robots aéreos ya que podrían vigilar ambos lados de la vía de forma simultánea. Sin embargo el mayor problema es la autonomía necesaria para recorrer muchos kilómetros de vía de forma ininterrumpida.

Una posibilidad sería combinar una estación base móvil situada por ejemplo en un coche con un quadrotor que realizaría la inspección. Cuando la batería estuviera gastándose el quadrotor volvería a la base, el operario cambiaría la batería y el robot podría seguir realizando la inspección.

2.6 IC Transporte. Puerto Marítimo



Figura 2.9: Vista aérea del puerto de Valencia.

Los puertos son, junto con los aeropuertos y las vías férreas, el tercer elemento de transporte más importante en la infraestructura de un país. Un puerto como el de Valencia cuenta con diferentes zonas que hay que vigilar de diferente manera. En este caso se va a centrar el foco del estudio en dos zonas. En primer lugar la zona de atraque de los barcos mercantes y en segundo lugar la zona de almacenaje de los contenedores con las mercancías.

En la tabla 2.5 se resume la evaluación de riesgo de este tipo de instalación según los parámetros de la UE [1]. También se trata de una IC con un alto nivel de riesgo en caso de ataque ya que proporcionan materias primas a numerosas industrias dentro de un país, además de suministrar bienes de consumo a muchos comercios y mayoristas.

Las características físicas de este tipo de instalaciones que afectan al diseño de un sistema de seguridad se incluyen en el punto 2.6.1.

Factor de identificación	Evaluación	Comentario
Alcance	Local	Afectará a la zona del puerto y alrededores.
Magnitud del impacto		
Público	Moderado	Puede dificultar el transporte de elementos de primera necesidad.
Económico	Principal	Afectará a numerosas industrias que reciben mercancías y materias primas por mar.
Ambiental	Moderado	Pueden producirse vertidos muy dañinos en el mar.
Interdependencia	Moderado	Si afecta al suministro de materias primas (petróleo, carbon, etc.) puede afectar a otras IC del país
Político	Moderado	A largo plazo puede afectar negativamente a las administraciones públicas
Efectos en el tiempo	Medio plazo	Los efectos se empezarán a notar cuando se acaben las reservas de materias primas.

Tabla 2.5: Evaluación de los factores de riesgo para un puerto marítimo.

2.6.1 Características físicas de la IC

Situación de la IC. Entorno

Los puertos se encuentran siempre situados en ciudades costeras, integrados en el núcleo urbano, aunque suelen disponer de un área propia para efectuar todas las tareas de logística. En la Figura 2.10 se observa la situación relativa del puerto de Valencia con respecto al núcleo urbano.



Figura 2.10: Vista aérea de la situación relativa del puerto de Valencia con respecto al centro de la ciudad

Terreno. Superficie, tipo e inclinación

La superficie total de un puerto depende mucho del volumen de mercancías que maneje, aunque se en general se trata de instalaciones muy extensas. Tomando como ejemplo el puerto de Valencia [4]; éste puerto tiene una extensión total de 600Ha y 14.000m lineales de atraques.

El terreno será asfaltado en la mayor parte de la instalación y sin desniveles de importancia. Pueden existir zonas con gravilla en lugar de asfalto.

Hay que distinguir entre las dos zonas principales puesto que sólo la zona de atraque está en contacto con el mar. A efectos de vigilancia y seguridad la zona de almacenaje de los contenedores se puede tratar como una IC básica, aunque habría que concentrar la vigilancia en el interior tanto como en el perímetro.

Entradas, salidas y perímetro

Existen muchas entradas y salidas además de una zona que linda directamente con el mar por lo que será muy difícil vigilar todas las entradas y salidas. Es mucho más efectivo plantear una vigilancia de los objetos móviles en una determinada zona, siendo lo más conveniente para este tipo de instalación una vigilancia aérea. También habría que plantear la posibilidad de incluir vigilancia submarina.

Elementos Internos

Los elementos internos más abundantes en la zona de almacenaje serán los contenedores de mercancías como los que se pueden observar en la Figura 2.11. Generalmente estos se

encuentran muy organizados y con espacio suficiente para desplazarse entre los grupos de contenedores.

En la zona de almacenaje los elementos que habrá que tener en cuenta son por un lado los barcos y por otro lado los amarres, los grúas de carga y descarga y demás aparatos para facilitar la operación de un buque mercante.



Figura 2.11 Ejemplo de contenedores de mercancías.

2.6.2 Requisitos específicos de la vigilancia de la IC

Las principales tareas de un sistema de seguridad multirrobótico se describen a continuación.

Vigilancia contra amenazas externas

La vigilancia debería centrarse en la detección de intrusos en la zona de almacenaje durante las horas en las que no se está trabajando o en las zonas en las que los contenedores tienen que permanecer en espera de pasar la aduana. Otra funcionalidad muy útil sería la detección de qué contenedores han sido abiertos o manipulados sin autorización.

Vigilancia contra funcionamiento erróneos. Tareas de inspección.

Como tareas de inspección a realizar por un sistema robótico se puede destacar el análisis de la integridad estructural de los muelles mediante robots submarinos para verificar los efectos de la corrosión. Otro aspecto en el que también pueden ayudar los robots submarinos, aunque no es estrictamente de seguridad, sería en la inspección de los cascos de los buques para la búsqueda de grietas o fisuras.

2.6.3 Requisitos específicos para los robots

En este tipo de IC se podrán utilizar robots terrestres, aéreos y submarinos combinándolos de forma selectiva para efectuar la vigilancia de las dos zonas descritas. Los robots no necesitarán ninguna característica ni sensor especial, excepto los robots submarinos. Estos deberán estar equipados con suficientes sensores de navegación para evitar su colisión con los barcos.

2.7 IC Hidráulica. Presa y embalses



Figura 2.12: Vista aérea del embalse de El Atazar, Madrid.

Las presas o embalses son susceptibles de ser incluidas en el marco de las IC por dos aspectos. El primero y más importante es que se encargan del suministro de agua potable a la población, por lo que la destrucción de uno de ellos puede suponer graves perjuicios para un país. El segundo aspecto es que algunas presas o embalses, generalmente distintas de las encargadas de suministrar agua, son centrales productoras de energía eléctrica.

La tabla 2.6 resume la evaluación del riesgo de este tipo de instalaciones según los parámetros definidos por la UE [1]. Analizando esta

evaluación se desprende que los embalses representan un riesgo muy alto en caso de ataque debido sobre todo a la cantidad de población que afectaría; tanto de forma directa, aquellas poblaciones río abajo del embalse, y de forma indirecta, aquellas a las que el embalse suministraba agua para el consumo humano.

Las características físicas de las pistas de un embalse se describen en el punto 2.7.1, sobre todo aquellas que pueden afectar al diseño de sistemas de vigilancia.

Factor de identificación	Evaluación	Comentario
Alcance	Regional	Afectará a toda la zona “aguas abajo” del embalse
Magnitud del impacto		
Público	Moderado	La población afectada dependerá del número de municipios a los que servía ese determinado embalse y además a los municipios aguas abajo que se verían afectados por la riada.
Económico	Moderado	Gran impacto económico si hay que construir un nuevo embalse
Ambiental	Moderado	Afectará en un grado muy importante a toda la zona aguas abajo, aunque no son efectos a largo plazo.
Interdependencia	Moderado	Afectará al resto de embalses que servían agua a las mismas ciudades.
Político	Mínimo	-
Efectos en el tiempo	Muy largo plazo	La construcción de un nuevo embalse puede demorarse años.

Tabla 2.6: Evaluación de los factores de riesgo para un embalse.

2.7.1 Características físicas de la IC

Situación de la IC. Entorno

Los embalses se encuentran situados en entornos no urbanos, casi siempre en algún valle para facilitar la acumulación de agua. Se encuentran alrededor de los grandes núcleos urbanos, pero sólo presentan peligro a las poblaciones más cercanas río abajo.

Terreno. Superficie, tipo e inclinación

Hay que distinguir entre la presa y el embalse. La presa la componen todos los elementos que permiten la acumulación de agua. Generalmente se construyen de hormigón o de piedra con una longitud típica de entre 250 y 500m. En total las instalaciones ocupan alrededor de $5000-10000m^2$ (1Ha) en los lados de la presa. Casi toda la superficie está asfaltada con caminos de acceso a todas las zonas importantes pero con grandes desniveles. Existe además mucha vegetación a los lados de la presa.

En cuanto al embalse son de diversos tamaños y su superficie depende de su ocupación. Por ejemplo se puede citar el embalse del Atazar con 500 Ha. Los bordes están poco definidos con vegetación completamente virgen. Los embalses, por su extensión y características no son adecuados para la aplicación de un sistema de vigilancia robótico.

Entradas, salidas y perímetro

Normalmente las presas de libre tránsito puesto que existen carreteras que las cruzan. Sin embargo es necesario establecer algún tipo de vigilancia en la carretera y sobre todo en las zonas a las que el público no tiene acceso, como por ejemplo las instalaciones de transformación de potencia en el caso de que la presa se dedique a la producción de energía eléctrica.

Elementos Internos

No existen elementos internos diferenciables en este tipo de IC. Sólo hay que tener en cuenta que uno de los dos lados estará cubierto por agua.

2.7.2 Requisitos específicos de la vigilancia de la IC

A continuación se describen las principales amenazas contra las que hay que diseñar un sistema de seguridad para un embalse. Vigilancia contra intrusos y paquetes sospechosos a lo largo de la presa. Posibilidad de vigilancia submarina en el embalse, compaginado con tareas de inspección de la presa (grietas, etc.)

Vigilancia contra amenazas externas

Al no tener unos bordes definidos y ser de libre acceso al público es muy difícil diseñar un sistema de vigilancia y protección eficaz para este tipo de instalación. Se debería implementar un sistema de reconocimiento de paquetes extraños en el borde del embalse.

Otras amenazas contra este tipo de embalses serían vertido de productos químicos o biológicos, pero un sistema robótico no es el método más eficaz para controlar estos ataques.

Vigilancia contra funcionamiento erróneos. Tareas de inspección.

Para las tareas de inspección si se puede plantear el uso de un sistema robótico. En concreto la utilización de robots submarinos estaría indicada para inspeccionar la parte interior de los embalses en busca de posibles fisuras o grietas. En el caso de tratarse de una presa para producción de energía eléctrica habría que tener en cuenta las corrientes cerca de la toma de agua de la central.

2.7.3 Requisitos específicos para los robots

En este caso lo más adecuado sería usar una combinación de robots aéreos y submarinos que permitiesen vigilar ambos lados de la presa tanto por encima como por debajo del nivel del agua. Un robot terrestre no tendría, en este caso, mucho sentido ya que sólo podría efectuar la vigilancia por la carretera sobre la presa y esa es una zona de libre acceso.

3 Características de los robots

En esta sección se recogen las características generales que deberían cumplir los distintos tipos de robots para utilizarlos en tareas de vigilancia y seguridad, así como los sensores de los que deberían disponer. A estas características generales habría que añadirle los requerimientos y limitaciones especificadas para cada uno de los tipos de ICE descritas en el capítulo 2.

3.1 Robots Terréstres. UGV

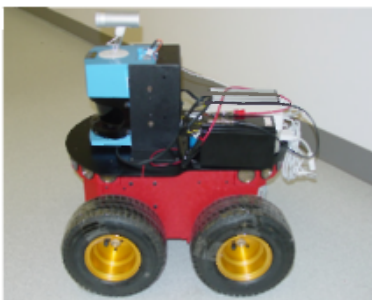


Figura 3.1: Ejemplo de un UGV. Base Pioneer AT3 con algunos sensores añadidos.

Los robots terrestres o UGV (*Unmanned Ground Vehicle*) son los tipos de robots más usados en todo tipo de misiones robóticas. Este tipo de robots llevan desarrollándose durante más tiempo que el resto y por lo tanto sus capacidades son mayores. Así mismo existe una mayor variedad de plataformas disponibles que permiten abarcar un gran número de diferentes tamaños, capacidades, configuraciones, etc...

Este tipo de robots serán los más utilizados en las tareas de vigilancia y seguridad, ya que la mayor parte de IC se encuentran en situadas en tierra. Junto con los robots aéreos, serán los utilizados en prácticamente todos los sistemas de seguridad robóticos que se diseñen. Además en parte de las IC, como por ejemplo los aeropuertos, no se pueden utilizar robots aéreos, por lo que los únicos robots posibles para vigilancia son los terrestres. Debido a estas razones son los robots más importantes y habrá que estudiarlos con mucho detalle.

3.1.1 Características físicas

Al analizar las características de las instalaciones en las que va a tener que operar el sistema robótico se pueden extraer algunas de las características que deben tener los robots para completar las labores de vigilancia de forma óptima. Por supuesto para cada infraestructura concreta se deberán utilizar robots distintos y ajustados a las características de ese entorno. Sin embargo existen algunas características que deberán ser comunes a todos los robots. A continuación se presenta un resumen de estas características.

Dimensiones y peso

Después de examinar las características de todos los tipos de IC descritos en este informe no se encuentran restricciones importante en cuanto a las dimensiones o el peso de los robots terrestres.

Las dimensiones mínimas vendrán determinadas por otros parámetros descritos más adelante como la carga de pago o la autonomía. El tamaño de los sensores o de las baterías impondrá restricciones al tamaño mínimo del robot, de forma que pueda transportarlos adecuadamente.

En cuanto a las dimensiones máximas, se ha observado que los espacios por los que los robots tendrán que desplazarse son suficientemente amplios para no imponer restricciones en las dimensiones de los UGV. Para citar algún tamaño máximo se podría afirmar que plataformas robóticas basadas en turismos podrían desplazarse sin problemas por la mayor parte de las IC cubiertas en este proyecto. Sin embargo, las plataformas robóticas comerciales suelen tener un tamaño y peso más reducido; por lo que en general esto no implicará ningún problema para circular por las zonas más estrechas.

Tipo de tracción

El terreno predominante en las IC es el asfalto por lo que no se necesitará ningún tipo de tracción especial en los robots utilizados para las labores de vigilancia. En algunos casos existen caminos de tierra compactada por lo que sería deseable que el sistema de tracción utilizado fuese capaz de transportar el robot por este tipo de terreno sin necesidad de utilizar ningún robot especial.

La mejor opción sería un sistema de cuatro ruedas con tracción independiente. Esto permitiría todo tipo de movimientos, incluyendo deslizamientos relativos para facilitar el giro. El tamaño y tipología de las ruedas habría que elegirlo en función del tipo de terreno, pero con unas ruedas de goma de 20-25cm se podría operar en prácticamente todos los tipos de terrenos que se presentarán en una IC.

En algún tipo de IC en el que el terreno es más irregular podría ser necesario la utilización de sistemas de orugas o de robots con 6 ruedas todoterreno. En la Figura 3.2 se observan dos ejemplos de diferentes tipos de tracción para UGV en terrenos irregulares.



(a)



(b)

Figura 3.2: En (a) se muestra una base robótica con una oruga y en (b) una base con tracción de 6 ruedas todoterreno.

Autonomía y velocidad

La autonomía de los robots utilizados en la vigilancia y la seguridad de una IC es una de las características más importantes en la selección de los robots. Este parámetro determinará la distancia y el tiempo que un robot podrá operar de forma continua. Cuánto mayor es el tiempo y la distancia que puede operar el robot sin necesidad de volver a la base aumenta la efectividad de la vigilancia.

Definir la autonomía necesaria para los robots en una instalación concreta es una tarea muy compleja en la que intervienen muchos factores entre los que destacan:

- **Longitud del perímetro:** Cuanto mayor es la longitud del perímetro que debe recorrer el robot mayor deberá ser la autonomía del robot.
- **Tamaño de la flota de robots:** La cantidad de robots incluidos en la flota influirá mucho en la autonomía necesaria para cada uno de ellos. Cuantos más robots haya menos distancia deberá recorrer cada uno de ellos y por lo tanto menor será la autonomía necesaria.
- **Número y duración de las misiones de reconocimiento:** Si se necesitan misiones de vigilancia y reconocimiento de forma continua no será posible que los robots reposten energía entre cada una de ellas por lo que la autonomía deberá de ser muy grande.
- **Estaciones de suministro intermedias:** La existencia de estaciones de suministro de energía intermedias pueden reducir la autonomía necesaria para los robots. Si además estas estaciones se colocan de forma que el robot pueda seguir vigilando una determinada zona, se podrán incluir dentro de la propia rutina de vigilancia.

En cuanto a la velocidad también será un parámetro importante a la hora de determinar la autonomía necesaria para un robot de vigilancia. Una mayor velocidad permitiría al robot aumentar el terreno recorrido en un determinado tiempo, aunque también consume más energía. Es necesario encontrar un régimen de funcionamiento óptimo que tenga en cuenta tanto la distancia a recorrer como el tiempo necesario para hacerlo.

En una instalación de 100ha de forma cuadrada, el perímetro sería de 4000m. Si la velocidad media del robot fuese de 2-3m/s y estuviese vigilando la instalación en solitario tardaría entre 30 y 40 minutos en cubrir todo el perímetro. Sin embargo pueden existir instalaciones con un perímetro mayor o en las que haya que hacer rondas de vigilancia interna que pueden aumentar mucho el tiempo empelado por el robot para completar una ronda. Se puede afirmar que un tiempo razonable para la autonomía de los robots sería de 2 a 3 horas, permitiendo de esta forma la realización de paradas no programadas.

Protecciones

Se trata de robots de vigilancia y seguridad por lo que no operaran bajo condiciones extremas o peligrosas. Por lo tanto las protecciones necesarias para este tipo de robots son mínimas. En determinadas instalaciones será necesaria la protección frente a algunas condiciones ambientales producidas por la actividad que se realice en ella.

3.1.2 Carga de pago

En esta sección se estudiarán todos los sistemas adicionales que necesitará el robot para su correcto funcionamiento dentro de un sistema de seguridad multirobótico. Estos sistemas se dividirán en tres categorías; en primer lugar aquellos dedicados específicamente a las comunicaciones y a la navegación, en segundo lugar los sensores específicos para vigilancia y en tercer lugar aquellos sensores o sistemas dedicados a tareas de inspección.

Sistemas de comunicaciones , navegación y localización

Estos sistemas son los encargados de suministrar al robot suficiente información para llevar a cabo las tareas de vigilancia de forma óptima. A continuación se describen algunos de los sistemas más comunes y que deberían disponer todos los UGV integrados en un sistema de vigilancia multirobótico para IC:

- **Localización:** Es de vital importante que el robot disponga de la mejor información posible acerca de su posición para poder determinar la localización de los posibles intrusos. Estos sistemas se dividen en:
 - *GPS:* Los sistemas GPS, sobre todo aquellos de precisión diferencial, pueden proporcionar al robot su posición con un margen de error de centímetros aunque son muy costosos y no funcionan correctamente en zonas cubiertas.
 - *Odometría:* El robot puede intentar realizar una primera estimación de su posición basándose en su última posición conocida y en la información obtenida a través de sus encoders.
 - *Autolocalización:* También se puede mejorar la estimación de la posición mediante sistemas de autolocalización basados en la posición de elementos en el entorno cuya posición ha sido determinada con anterioridad.
- **Comunicaciones:** Tanto si el robot opera en solitario como si forma parte de una flota de robots de vigilancia es necesario que éste se encuentre en contacto con el resto de los robots y con la estación base.
 - *WiFi:* Permite el envío de gran cantidad de datos aunque su alcance está limitado a 50m aproximadamente. Si se quisiera utilizar esta tecnología sería necesaria la instalación de repetidores en distintos sitios de la instalación.
 - *Radio:* Tiene un alcance mucho mayor que permite que los robots se mantengan en contacto en las distintas partes de la instalación.
- **Navegación:** Se utilizan distintos tipos de sensores que permiten al robot moverse en la dirección deseada evitando los obstáculos que aparezcan en su ruta.
 - *Ultrasonidos:* Se utilizan en un rango cercano al robot (1m), generalmente para evitar choques con obstáculos que aparezcan de improviso.
 - *Laser:* Proporciona la distancia a todos los puntos de un mismo plano y se utilizan para hacer un mapa del entorno con técnicas de SLAM.

Sensores específicos de vigilancia

Estos sensores son los encargados de las tareas específicas de vigilancia. En cada instalación habrá necesidades particulares que obligarán al empleo de sensores específicos; sin embargo, se puede definir algunos elementos genéricos de los que deberán disponer todos los robots.

- **Visión:** Uno de los sensores más comunes y más necesarios son las cámaras que permiten al robot obtener información directa de lo que ocurre en el entorno. Esta información puede enviarse directamente al operador de la estación central para que él evalúe la situación o analizarla mediante técnicas de visión artificial para obtener datos sobre la situación real del entorno del robot.
 - *Cámara “normal”:* Permite obtener una imagen en color o en blanco y negro del entorno del robot. Se puede usar para detectar intrusos, aunque es difícil determinar su posición; o para identificar elementos extraños situados en zonas sensibles.
 - *Cámara termográfica:* Proporciona una lectura de la temperatura de los elementos del entorno. En aplicaciones de seguridad se usa para la detección de personas no autorizadas en determinadas zonas de la instalación. También pueden usarse como elementos de inspección para la detección de incendios.
- **Distancia:** Estos sensores proporcionan medidas de distancia del entorno del robot. En aplicaciones de seguridad se suelen utilizar para obtener la distancia a determinados objetos del entorno. Los sensores láser son los más utilizados. Su rango varía mucho pero pueden llegar a tomar medidas de hasta 80m con mucha precisión (10cm). Si se combinan con unidades *pan-tilt* se puede obtener una imagen muy precisa de todo el entorno.

Sensores para tareas de inspección

Otro grupo de sensores importantes para este tipo de robots son aquellos destinados a tareas de inspección. Estos sensores se centran en detectar problemas en el funcionamiento normal de la instalación. Sus características y tipología dependerán del tipo de instalación en la que se instale el sistema de seguridad. Como ejemplo se pueden señalar sensores químicos para detectar escapes en centrales de procesamiento de productos químicos o la utilización de cámaras termográficas para detectar la disminución de la temperatura del fluido interior en los paneles solares parabólicos en una central solar.

3.1.3 Ejemplo de UGV

Para poner un ejemplo de una base de UGV que se podría utilizar para la construcción de un prototipo de robot de seguridad se presenta la base robótica *Pioneer 3-AT* [5].

La base robótica Pioneer 3-AT es una plataforma muy versátil con cuatro ruedas. Se trata de una plataforma potente, fácil de usar, fiable y muy flexible y con capacidades para trabajar en exteriores o en terrenos irregulares. Se le pueden añadir un número

muy grande de sensores y elementos adicionales, como por ejemplo: GPS, parachoques, garra, visión, telémetros estéreo, brújula, láser, etc...

En la Figura 3.3 se muestran distintas configuraciones para este robot.

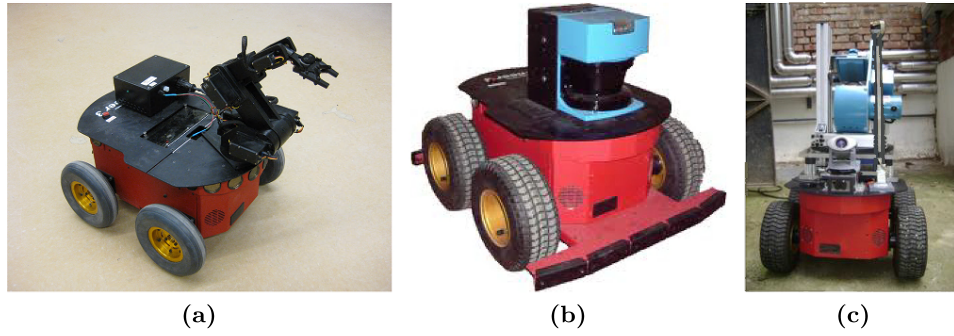


Figura 3.3: En (a) se muestra la base con una pinza robótica; en (b) se muestra la misma base con un láser 2D; y en (c) se muestra la misma base con un lanzador utilizado para diseminar una red de sensores.

3.2 Robots Aéreos. UAV



Figura 3.4: Ejemplo de un UAV. Avión Predator de vigilancia.

Los robots aéreos o UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) son aeronaves que vuelan sin ninguna tripulación humana. Actualmente son usados sobre todo en aplicaciones militares y para distinguirlos de los misiles se definen los UAV como vehículos sin tripulación reutilizables, capaz de mantener un vuelo controlado y sostenido, y propulsad por un motor de explosión o reacción [6]. Los UAV también son utilizados en un pequeño pero creciente número de aplicaciones civiles, como en labores de lucha contra incendios o seguridad civil, como la vigilancia de los oleoductos.

Existe una amplia variedad de formas, tamaños, configuraciones y características en el diseño de los UAV. Estos robots pueden clasificarse siguiendo diferentes métodos [6]. Si se clasifican según su aplicación se pueden definir los siguientes grupos:

- *De blanco:* Sirven para simular aviones o ataques enemigos en los sistemas de defensa de tierra o aire.
- *Reconocimiento:* Recolección y envío de información militar. Entre estos destacan los MUAVs (Micro Unmanned Aerial Vehicle).
- *Combate (UCAV):* Combatiendo y llevando a cabo misiones que suelen ser muy peligrosas.
- *Logística:* Diseñados para llevar carga.
- *Investigación y desarrollo:* En ellos se prueban e investigan los sistemas en desarrollo.
- *comerciales y civiles:* Diseñados para propósitos civiles.

Otra posible clasificación sería según su techo y alcance máximo:

- *Handheld:* Unos 2000 pies de altitud, unos 2 km de alcance.
- *Close:* Unos 5000 pies de altitud, hasta 10 km de alcance.
- *NATO:* Unos 10.000 pies de altitud, hasta 50 km de alcance.
- *Tactical:* Unos 18000 pies de altitud, hasta 160 km de alcance.
- *MALE (Medium Altitude, Long Endurance):* Hasta 30000 pies de altitud y un alcance de unos 200 km.
- *HALE (High Altitude, Long Endurance):* Sobre 30.000 pies de techo y alcance indeterminado.
- *HYPERSONIC:* Alta velocidad, supersónico (Mach 1-5) o hipersónico (Mach 5+), unos 50000 pies de altitud o altitud suborbital y alcance de 200km.
- *ORBITAL:* En orbitas bajas terrestres (Mach 25+).
- *CIS Lunar:* Viaje entre la Luna y la Tierra.

Estas dos clasificaciones no tienen en cuenta un aspecto importante, que además es el más interesante para aplicaciones de seguridad y vigilancia; la capacidad del UAV de mantenerse estático en una misma posición (*hovering*). Esto permitiría añadir un sistema de clasificación dividiendo los UAV entre los que tienen la capacidad de

hovering, helicópteros y quadrotors mayormente, y los que no tiene esa capacidad, los que se asemejan a aviones.

Como los UAV más idóneos para aplicaciones de seguridad son los helicópteros y quadrotors se va a centrar en ellos el estudio de las características físicas y carga de pago. En algunos casos, como por ejemplo la vigilancia de un tendido férreo, podría ser más interesante el empleo de otro tipo de UAV; pero para la mayor parte de las instalaciones los quadrotors y helicópteros serán suficiente.

3.2.1 Características físicas

A continuación se presenta un resumen de las características necesarias para los UAV que participen en el sistema de vigilancia de una infraestructura crítica. Este resumen pretende ser un indicador de los requisitos mínimos que deben cumplir este tipo de robots, siendo necesario un estudio en profundidad para cada IC concreta. También hay que tener en cuenta que en algunas IC, como por ejemplo en los aeropuertos, el uso de estos robots estará muy restringido e incluso prohibido por motivos de seguridad.

Dimensiones y peso

Las limitaciones de dimensiones y peso vendrán impuestas sobre todo por el propio robot, ya que en ninguna de las instalaciones se han observado zonas más estrechas que obligarían a imponer un tamaño máximo.

Las plataformas comerciales más comunes suelen tener unas dimensiones máximas de entre 1m y 1,5m y un peso máximo de entre 50g y 3kg.

Autonomía y velocidad

En este caso, al igual que en los UGV, la autonomía necesaria dependerá de diversos factores, que ya se han descrito en la sección 3.1.1.

Existen plataformas comerciales (*Pelican* y *Hummingbird* de *Ascending Technologies* [7]) con una autonomía de aproximadamente 20 min y velocidades máximas de 50 km/h. Este tipo de plataformas serían suficientes para la construcción de un prototipo pero no para una aplicación comercial real. En este caso sería necesario aumentar la autonomía de este tipo de robots hasta un 1-2h para permitir la vigilancia continuada de determinadas zonas o sectores.

Protecciones

Las protecciones necesarias para este tipo de robots en aplicaciones de seguridad son las mismas que se necesitan en cualquier otro tipo de aplicación y sobre todo se centran en proteger el robot ante caídas o golpes de viento.

3.2.2 Carga de pago

Al igual que en el caso de los UGV, los robots aéreos necesitan de unos sistemas y sensores adicionales para poder operar correctamente dentro de un sistema multirobótico de seguridad. En este caso también se definen tres categorías para estos sistemas, aunque sólo se describiran aquellos específicos de los UAV. Todos los sistemas descritos para los robots terrestres son aplicables a los robots aéreos.

Sistemas de comunicaciones , navegación y localización

Estos sistemas son los encargados de suministrar al robot suficiente información para llevar a cabo las tareas de vigilancia de forma óptima. Los sistemas descritos para los UGV son igualmente necesarios para los UAV, y además hay que incluir:

- *Altímetro*: Para la correcta localización del UAV es necesario que éste disponga de un altímetro para complementar la medida de altura que proporciona el GPS.

Sensores específicos de vigilancia

Los sensores encargados de la vigilancia son similares a los ya descritos para los UGV si bien debido a las limitaciones de carga de este tipo de robots no se podrá usar sensores muy pesados. Esto limita el número de sensores que se pueden elegir y en la mayor parte de los casos también limita el rango y precisión de éstos.

Sensores para tareas de inspección

En este caso tampoco existe un tipo de sensores o sistemas específicos para los UAV en tareas de inspección.

3.2.3 Ejemplo de UAV

Como ejemplo de UAV se propone el *Pelican* de *Ascending Technologies* [8]. Se trata de un quadrotor de 1m de envergadura con una capacidad máxima de carga de 500g. Se puede equipar con diversos sensores, desde cámaras hasta sistemas láser. Algunas de sus especificaciones se describen a continuación:

- Velocidad máxima 50km/h.
- Máxima carga de viento 36km/h.
- Tiempo máximo de vuelo 20 min.
- GPS.
- Sensores giroscópicos.
- Carga de peso de hasta 500g.

En la Figura 3.5 se muestran distintas configuraciones para este robot.

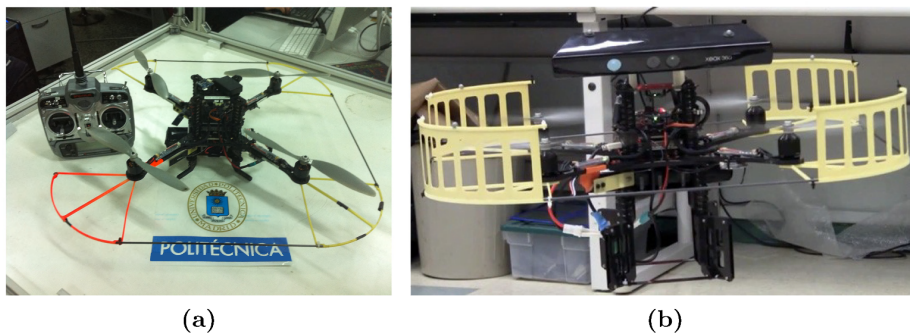


Figura 3.5: En (a) se muestra la configuración estándar del *Pelican* junto con el mando para controlarlo remotamente; y en (b) se muestra el UAV con el sistema *Kinect* de *Microsoft*

4 Conclusiones

El presente documento ha analizado los diferentes tipos de infraestructuras críticas y los robots necesarios para implantar en ellas un sistema robótico de seguridad.

Como conclusiones generales hay que señalar en primer lugar que existe una preocupación creciente en España y en Europa por la protección de este tipo de instalaciones ante amenazas externas. Además se está empezando a optar por sistemas robóticos para vigilar este tipo de instalaciones, existiendo incluso algunas empresas comerciales dedicadas a esta actividad.

En segundo lugar hay que señalar que mucha de la información necesaria para analizar correctamente una IC y para diseñar un sistema robótico de vigilancia efectiva está clasificada como información sensible. Por lo tanto algunas de las conclusiones y resultados presentados en este documento son inferencias realizadas con los datos disponibles.

A continuación se describen, en dos bloques, las principales características de las instalaciones y de los robots.

4.1 Características de las IC

A lo largo de este documento se han descrito diferentes infraestructuras críticas de exteriores, cada una con un conjunto de características propias. Sin embargo, se pueden hacer generalizaciones que pueden ayudar al diseño de un sistema de seguridad efectivo en instalaciones críticas de exteriores.

- Se trata de instalaciones con un tamaño variable, aunque ninguna con menos de 50Ha. Algunas pueden llegar a ocupar más de 3000Ha.
- Generalmente situadas alejadas de núcleos urbanos.
- Disponen de un perímetro definido, por lo que uno de los aspectos más importantes de la vigilancia es la detección de intrusos antes de que se introduzcan en la instalación.
- Elementos internos de número y características variables.

Estas características implican que al diseñar un sistema de seguridad robótico se puede optar por dos vías diferentes. En primer lugar diseñar un sistema muy especializado que sólo sea útil en una IC determinada. La otra opción sería diseñar un sistema flexible y ajustable a diferentes IC que, con muy pocos ajustes, permita la vigilancia de cualquier instalación.

4.2 Características de los robots

Aunque se pueden utilizar diferentes robots para construir un sistema de seguridad efectivo, todos ellos deben cumplir una serie de características comunes. Estas características no tienen tanto que ver con su forma física sino con sus capacidades.

- Gran autonomía. Se ha observado que se rata de instalaciones con un gran perímetro por lo que es conveniente que los robots puedan estar en funcionamiento durante mucho tiempo sin tener que recargar energía.
- Múltiples sensores. Los robots han de disponer de múltiples sensores para poder llevar a cabo las tareas de vigilancia de forma efectiva. Entre estos sensores destacan: cámaras, cámaras termográficas y sistemas láser.
- Múltiples robots. Un sistema de seguridad será más efectivo si se dispone de varios robots que puedan combinar sus características.

A Tablas resumen

A.1 Tablas resumen de las características de las ICE

Parámetro		Descripción	Influencia en los robots
Características físicas			
Entorno		Alejado de núcleos urbanos	-
Terreno	Tamaño	60-120Ha	Robots de gran autonomía
	Tipo superficie	Tierra compactada	No es necesario ningún tipo de tracción especial
	Inclinación	Superficie plana con posibilidad de varios niveles	-
Acceso	Entradas/Salidas	Una o varias, vigiladas	-
	Perímetro	Valla metálica simple sin camino exterior	La vigilancia se hará desde el interior
Elementos Internos		Heliostátos planos y cilíndricos	Protecciones contra calor extremo para los UAV.
Requisitos de vigilancia			
Amenazas externas		Detección de intrusos	-
		Detección de elementos extraños	-
Tareas de inspección		Temperatura del fluido en heliostatos cilíndricos	Cámara termográfica
		Suciedad de heliostatos planos	Brazo robótico con sensor especializado

Tabla A.1: Resumen características ICE solar

Parámetro		Descripción	Influencia en los robots
Características físicas			
Entorno		Alejado de núcleos urbanos	-
Terreno	Tamaño	60-110Ha	Robots de gran autonomía
	Tipo superficie	Asfaltado	No es necesario ningún tipo de tracción especial
	Inclinación	Plano, pendientes máximas de 1-2%	-
Acceso	Entradas/Salidas	Una, muy vigilada	-
	Perímetro	Varios niveles de protección perimetral	Zona intermedia “vírgen” que habría que vigilar
Elementos Internos		Edificios y torres de uso industrial	La vigilancia se centrará en el perímetro
Requisitos de vigilancia			
Amenazas externas		Detección de intrusos	Sensores de mucha precisión
		Detección de elementos extraños	-
Tareas de inspección		Fugas radioactivas	Contadores Geiger

Tabla A.2: Resumen características ICE nuclear

Parámetro		Descripción	Influencia en los robots
Características físicas			
Entorno		En las afueras de grandes núcleos urbanos	No UAV
Terreno	Tamaño	800-900Ha por pista	Múltiples robots con gran autonomía
	Tipo superficie	Asfalto	-
	Inclinación	Plano	-
Acceso	Entradas/Salidas	Múltiples	La vigilancia se centrará en el perímetro
	Perímetro	Carretera perimetral y valla metálica	
Elementos Internos		No existentes	-
Requisitos de vigilancia			
Amenazas externas		Detección de intrusos	Especial atención a objetos voladores.
		Detección de elementos extraños	Gran precisión para la detección de elementos estáticos en la pista
Tareas de inspección		Elementos extraños en pista	Sensores y cámaras de gran precisión.

Tabla A.3: Resumen características ICE Transporte; pistas de un aeropuerto

Parámetro	Descripción	Influencia en los robots
Características físicas		
Entorno	Atravesando diferentes paisajes y geografías	-
Terreno	Tamaño	Muchos kilómetros
	Tipo superficie	Caminos de tierra o vegetación
	Inclinación	Plano con posibles desmontes
Acceso	Entradas/Salidas	-
	Perímetro	Vallas metálicas a ambos lados
Elementos Internos	Postes eléctricos	Posibles interferencias en comunicaciones
Requisitos de vigilancia		
Amenazas externas	Roturas de vallas	Indican una posible intrusión o sabotaje.
Tareas de inspección	Detección de elementos sobre la vía	Cámaras instaladas en un UAV

Tabla A.4: Resumen características ICE Transporte; líneas férreas

Parámetro	Descripción	Influencia en los robots	
Características físicas			
Entorno	Integrados en núcleos urbanos	-	
Terreno	Tamaño	400-600Ha	
	Tipo superficie	Asfalto o gravilla	Robots de gran autonomía No es necesario ningún tipo de tracción especial
	Inclinación	Plano	-
Acceso	Entradas/Salidas	Múltiples	-
	Perímetro	Vallas y zona colindante con el mar	Robots Submarinos
Elementos Internos	Contenedores de mercancías	-	
Requisitos de vigilancia			
Amenazas externas	Detección de intrusos	Cámaras termográficas y sensores de distancia	
	Elementos extraños bajo el agua	Buenos sensores de visión submarina	
Tareas de inspección	Inspección de contenedores	Algoritmos de visión para detectar contenedores abiertos o manipulados	
	Inspección de muelles	Análisis de la integridad estructural de las zonas sumergidas.	
	Inspección de cascos de buques	Búsqueda de grietas y fisuras.	

Tabla A.5: Resumen características ICE Transporte; puerto marítimo

Tipo ICE	Entorno	Características Físicas					Sistema vigilancia			Características robot	
		Terreno		Acceso		Elementos Internos	Amenazas externas	Inspección	Protecciones	Sensores extra	
		Tamaño	Tipo Sup.	Inclinación	E/S						Perímetro
Básica	Típicamente no Urbano	100-3000Ha	Asfalto o tierra compactada	Poca inclinación	1-2	Valla metálica	Múltiples	Múltiples	No crítica	-	-
Solar	No Urbano	60-120Ha	Tierra compactada	Plano	1-2	Valla metálica	Helióstatos	Intrusos y elementos extraños	No crítica	Calor extremo	Cámara termográfica
Nuclear	No Urbano	60-100Ha	Asfalto	Plano	1	Dos niveles de perímetro	Torres y edificios	Intrusos y elementos extraños	Fugas radioactivas	-	Contadores Geiger
Pistas Aeropuerto	No Urbano	3000Ha	Asfalto	Plano	Múltiples	Valla metálica y carretera perimetral	Torre de control	OVNIs	Elementos sobre la pista	-	Gran precisión
Tren	No Urbano	50m ancho x gran extensión en km	Muy irregular	Desmontes y terraplenes	-	Valla metálica	Postes de suministro de energía eléctrica	Rotura de la valla	Objetos sobre la vía	-	Gran autonomía - UAV
Puerto	Urbano	600Ha	Asfalto	Plano	Múltiples	Valla metálica y línea de mar	Contenedores	Intrusos	Contenedores abiertos	-	Robots submarinos
Presa	No Urbano	250-500m	Asfalto	Gran desnivel	-	-	-	Elementos extraños	Integridad de la presa	-	Robots submarinos

Tabla A.6: Comparativa de características de todos los tipos de ICE

Referencias

- [1] Comisión de las Comunidades Europeas. Protección de las infraestructuras críticas en la lucha contra el terrorismo. Technical Report COM(2004) 702 final, Unión Europea, November 2004.
- [2] Abengoa Solar. Plataforma Solucar. http://www.abengoasolar.com/corp/web/es/nuestros_proyectos/plataforma_solucar/index.html, 2011.
- [3] EurObserver. 10th Annual Overview Barometer. <http://www.euroobserver.org/observer.asp>, 2010.
- [4] ValenciaPort. Puerto de Valencia. <http://www.valenciaport.com/>, 2011.
- [5] Mobile Robotics. Plataforma Robótica Pioneer 3-AT. <http://www.mobilerobots.com/ResearchRobots/ResearchRobots/P3AT.aspx>, 2011.
- [6] Wikipedia. UAV - Unmanned Aerial Vehicle. http://es.wikipedia.org/wiki/Veh%C3%ADculo_a%C3%A9reo_no_tripulado, 2011.
- [7] Ascending Technologies. Plataformas UAV para investigación. <http://www.asctec.de/uni-flight-systems-3/>, 2011.
- [8] Ascending Technologies. Asc Tec Pelican Quadrotor. <http://www.asctec.de/asctec-pelican-5/>, 2011.