

RADUCAN, S.L.
MEDIDAS DE RADIACIÓN

**INFORME FINAL A LA
COMUNIDAD DE BARDENAS REALES DE NAVARRA
RELATIVO AL PROYECTO TITULADO:**

**“ESTUDIO DEL NIVEL RADIOLÓGICO
AMBIENTAL EN EL CAMPO DE TIRO
DEL PARQUE NATURAL DE
BARDENAS REALES DE NAVARRA
Y SUS ALREDEDORES”**

INFORME RAD018 - UC203

Exp. 2008/009R1

SEPTIEMBRE 2008

Elaborado por:

Luis Santiago Quindós Poncela
Catedrático de Radiología y Medicina Física
Universidad de Cantabria

Ismael Fuente Merino
Ingeniero de Telecomunicación
Gerente de RADUCAN, S.L.

ÍNDICE

1.- Objeto	3
2.- Alcance	3
3.- Metodología	3
3.1.- Selección de las zonas geográficas	4
3.2.- Instrumentos de medida	5
3.3.- Realización de las medidas	8
3.4.- Conversión de las lecturas a dosis equivalente ambiental	9
3.5.- Incertidumbre de las medidas	10
4.- Resultados	11
4.1.- Resultados en el Perímetro del Campo de Tiro	11
4.2.- Resultados en el Interior del Campo de Tiro	17
4.3.- Resultados en el Exterior próximo al Campo de Tiro	25
4.4.- Resultados en los Pueblos pertenecientes a la Comunidad	30
4.5.- Resumen de todas las medidas	32
5.- Conclusiones	36
6.- Agradecimientos	38
7.- Referencias	38
Datos de interés	39

Anexo I: Certificados de Calibración de los monitores de radiación

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.-	Situación geográfica Parque Natural y Polígono de Tiro	4
Figura 2.-	Instrumental para medidas de radiación externa	6
Figura 3.-	Modelos de receptores <i>GPS</i>	7
Figura 4.-	Camino perimetral en Castildetierra	8
Figura 5.-	Camino perimetral sin asfaltar y puntos de medida	9
Figura 6.-	Coordenadas <i>UTM</i> de los 4 tramos del perímetro	12
Figura 7.-	Mapa del Polígono de Tiro y perímetro resaltado	12
Figura 8.-	Posiciones de las medidas del Interior del Campo de Tiro	17
Figura 9.-	Vista desde satélite del interior del Campo de Tiro	18
Figura 10.-	Torre 2 en la Línea de Faltas	18
Figura 11.-	Diana vista desde el aire formada por bidones blancos	24
Figura 12.-	Diana vertical del interior del Campo de Tiro	24
Figura 13.-	Localización de los 3 tramos en el exterior del perímetro	25
Figura 14.-	Exterior del pueblo de Pinsoro	30
Figura 15.-	Otra localización de Pinsoro	30
Figura 16.-	Distribución porcentual de las medidas en rangos de tasa de dosis ...	32
Figura 17.-	Localizaciones de todas las medidas excepto los pueblos	33
Figura 18.-	Localizaciones de las medidas consideradas en la interpolación	33
Figura 19.-	Mapa del Campo de Tiro por interpolación	34
Figura 20.-	Mapa de los pueblos con su tasa de dosis	35
Figura 21.-	Mapa de Radiación Natural de España (<i>MARNA</i>)	36
Figura 22.-	Mapa de detalle del <i>MARNA</i> en la zona de estudio	37

1.- OBJETO

El objeto del presente informe es presentar los resultados de las medidas de la tasa de dosis equivalente ambiental efectuadas por personal de la empresa RADUCAN, S.L. y del Grupo RADON del Laboratorio de Radiactividad Ambiental de la Universidad de Cantabria, en diferentes zonas del Parque Natural de Bardenas Reales de Navarra, como son el interior del campo de tiro, el perímetro de La Blanca Baja que delimita la zona militar de acceso restringido, diversas zonas limítrofes transitables con vehículo a motor hacia localidades próximas y la mayoría de pueblos congozantes pertenecientes a la Comunidad de Bardenas Reales, distribuidos en los cuatro puntos cardinales entorno al polígono de tiro.

2.- ALCANCE

El presente informe describe las medidas efectuadas y los resultados obtenidos de los niveles de radiación externa ambiental efectuados con equipamiento de la Universidad de Cantabria y de RADUCAN, S.L.

Los resultados finales se expresan en términos de la magnitud radiológica *dosis equivalente ambiental*, $H^*(10)$, requerida por la legislación vigente (R.D. 783/2001, *Reglamento de protección sanitaria contra las radiaciones ionizantes*) para la evaluación de dosis en vigilancias de área o ambiental.

Se ha realizado una campaña de mediciones en campo, durante la última semana del mes de Junio del 2008, en condiciones meteorológicas favorables, con equipos de medida de la radiación gamma ambiental a un metro del suelo, que es el método estandarizado para la caracterización radiológica en grandes extensiones abiertas.

3.- METODOLOGÍA

A petición de la Comunidad de Bardenas Reales y tras el acuerdo alcanzado entre la empresa RADUCAN, S.L. y el Laboratorio de Radiactividad Ambiental de la Universidad de Cantabria, el pasado mes de Junio de 2008 se llevó a cabo un estudio de los niveles radiológicos ambientales en el Campo de Tiro de las Bardenas Reales, situado en Navarra y con una extensión aproximada de 300 Has. así como en diversos pueblos de los alrededores con el fin de determinar el nivel de fondo radiológico.

A continuación se describe las medidas efectuadas y los resultados obtenidos de los niveles de radiación externa ambiental efectuados con distintos instrumentos.

3.1.- Selección de las zonas geográficas

La Comunidad de Bardenas Reales, solicitante del estudio, mostró el interés en el objeto de estudio dentro del Parque Natural de Bardenas Reales donde se han realizado las medidas. Una vista aérea de las mismas puede observarse en la *Figura 1*. Dadas las características de extensión y distribución del polígono de tiro se optó por realizar medidas de tasa de exposición como mínimo con una malla de 50 m x 50 m (2500 m²).

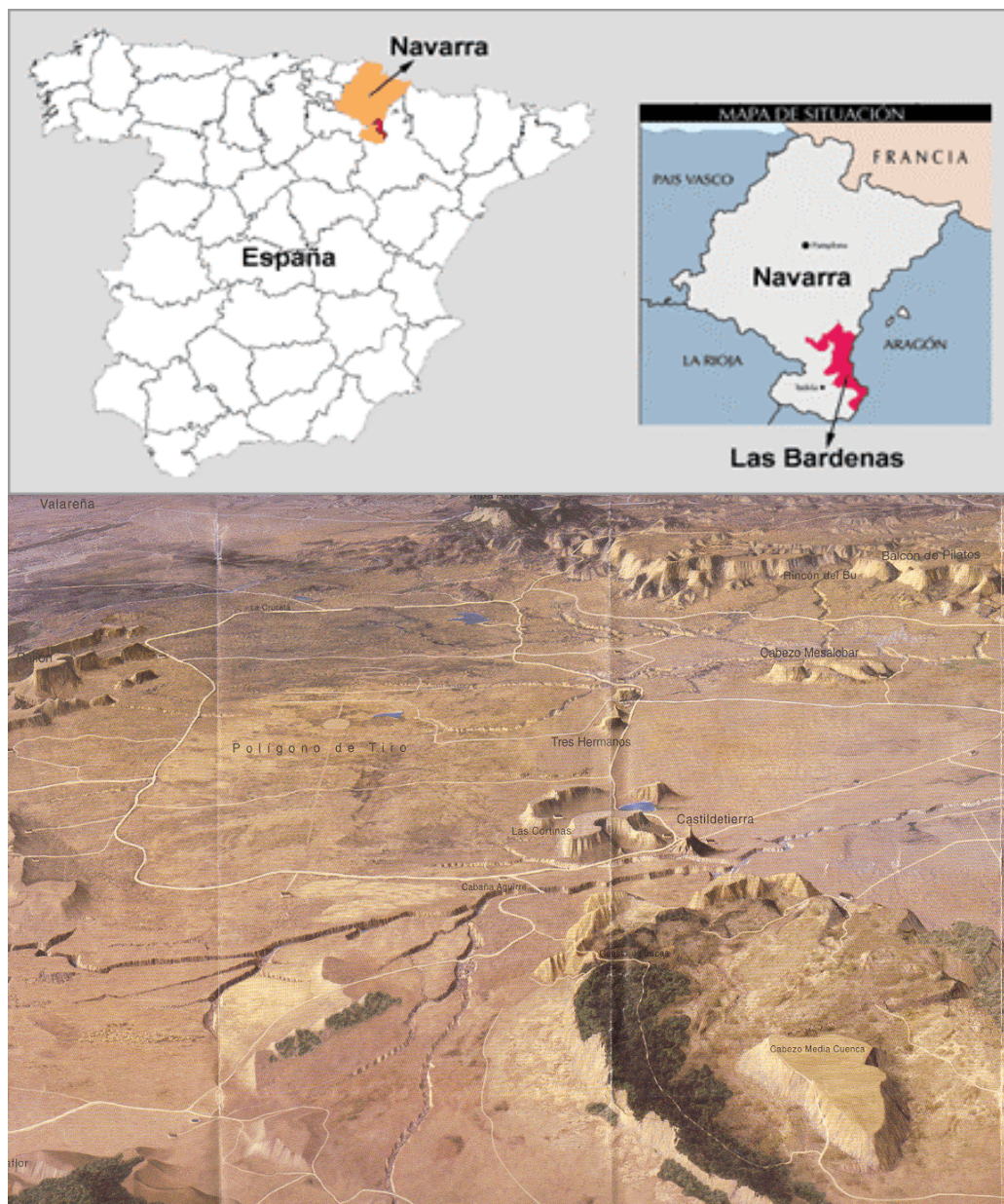


Figura 1.-Situación geográfica y vista aérea del Parque Natural que incluye el polígono de tiro.

Las medidas de tasa de exposición se llevaron a cabo entre los días 25 y 28 del mes de Junio del presente año 2.008, en unas condiciones meteorológicas favorables y con el terreno seco.

Las zonas en que se ha dividido el estudio son las siguientes:

- 1) Interior del Polígono de Tiro (zona militar).
- 2) Perímetro que delimita la zona militar de la zona de acceso público, por pista sin asfaltar autorizada para vehículos a motor.
- 3) Exteriores próximos al perímetro, como son la carretera de acceso desde Arguedas hasta la entrada al cuartel militar, la pista desde Castildetierra hasta el cruce con la carretera anteriormente citada en la localidad de Aguilares y el camino de tierra desde el sur del perímetro hasta el pueblo de Pinsoro.
- 4) Pueblos pertenecientes a la Comunidad de Bardenas Reales de Navarra, situados en las proximidades del Parque Natural y que se denominan entes congozantes de la Junta de Bardenas, en su mayoría situados en Navarra y alguno en Aragón.

3.2.- Instrumentos de medida

Los instrumentos de medida de tasa de dosis de radiación externa utilizados en la campaña de campo fueron los siguientes:

- Monitores de centelleo EXPLORANIUM GR-130 miniSPEC: dos equipos, uno con *Nº Serie: 9633* y otro con *Nº Serie: 9812*.

El equipo consiste en un detector de NaI:Tl de 38 mm de diámetro por 57 mm de longitud, modelo GR-130 de la firma Exploranium CZ Radiation Detection Systems, capaz de medir tasas de dosis en el rango de 10 nSv/h a 5 mSv/h.

- Escintilómetros de NaI tipo SPP2-NF del fabricante SAPHYMO STEL: dos equipos, uno con *Nº Serie: 1793* y otro con *Nº Serie: 1420*.

Equipo ampliamente utilizado para la medida de la radiación ambiental que abarque amplias zonas geográficas, con especial interés en las relativas a las prospecciones de uranio.

- Monitor multisonda LAMSE modelo MS6020 con *Nº Serie: 19066* con la Sonda de Contaminación Superficial conectada modelo CT115BG *Nº Serie: 21031*.

Se trata de un equipo portátil, como todos los anteriores, con la peculiaridad de ser multisonda, lo que permite hacer medidas de contaminación y de radiación mediante sondas externas intercambiables.

Dispone de un software avanzado que permite la identificación de la sonda conectada y la configuración automática de los parámetros propios almacenados, como son la eficiencia, el factor de calibración, superficie, tiempo muerto o alarmas.

- Monitor LUDLUM Model-3 Survey Meter con *Nº Serie: 151117* y sonda modelo 44-9 con *Nº Serie: PR-153507*.

Es un equipo del tipo contador Geiger-Müller, empleado para estudios o muestreos de propósito general.

La calibración de estos equipos es verificada regularmente en términos de la magnitud *exposición* en el Laboratorio de Radiactividad Ambiental de la Cátedra de Física Médica del Departamento de la Universidad de Cantabria, con fuentes radiactivas calibradas de ^{60}Co y ^{137}Cs . El Laboratorio es una Instalación Radiactiva de Segunda Categoría y está autorizado para ello por el Consejo de Seguridad Nuclear.

Así mismo, estos equipos son calibrados cada dos años en el Laboratorio de Calibración y Dosimetría del INTE (Instituto de Técnicas Energéticas) de la Universidad Politécnica de Cataluña, acreditado por ENAC con la calibración nº23 / LC121.



Figura 2.- Instrumental para medidas de radiación externa.

En el **Anexo I** se recogen copia de los certificados de calibración y verificación de los equipos empleados.

Para el posicionamiento se emplearon equipos portátiles receptores G.P.S. (*Global Positioning System*) con antena integrada y conexión a equipo informático. Los modelos y sus características se detallan a continuación:

- Receptores GPS modelo *eTrex H* del fabricante GARMIN (4 unidades) con N^{os} Serie: 16Q185796, 16Q185797, 16Q185799 y 16Q185802.

Disponen de receptor compatible con WAAS (*Wide Area Augmentation System*) de alta sensibilidad, que consiste en un sistema de corrección de las señales que los Sistemas Globales de Navegación por Satélite transmiten al receptor GPS, lo que permite mejorar el posicionamiento horizontal.

La precisión típica GPS es inferior a 10 metros y la precisión DGPS (WAAS) es inferior a 3 metros.

- Receptor GPS modelo Geko 101 de GARMIN con N^o Serie: 90390614. La precisión de este modelo es inferior a 15 metros.

Todos los parámetros que se emplearon en la campaña de medidas y que se aplican a todas las coordenadas mostradas en el informe y en el tratamiento de los datos son los siguientes:

- Posición: UTM/UPS
- Datum: European 1950
- Unidades: Métrico
- Referencia Norte: Real
- Ángulo: Grados



Figura 3.- Modelos de receptores GPS utilizados.

3.3.- Realización de las medidas

Se comprobó en las medidas de campo que las realizadas desde la Unidad Móvil sobre carreteras asfaltadas son sistemáticamente menores que las realizadas en el entorno próximo de esa misma zona, pero alejadas del asfalto, sobre terreno natural. En términos generales resulta una diferencia de entre un 10% y un 20 %.

Este dato hay que tenerlo en cuenta sólo en aquellos tramos con carretera asfaltada, que en este estudio sólo se da en el tramo entre la entrada del cuartel militar y la carretera hacia Aguilares y Arguedas, dado que todo el perímetro de la zona militar es transitable por una pista sin asfaltar, como por supuesto el interior del campo de tiro. Para las medidas efectuadas en los pueblos alejados del Polígono de Tiro se seleccionaron, en función de las posibilidades, emplazamientos amplios y libres de obstáculos masivos como árboles, edificios o postes y alejados suficientemente de la carretera pavimentada. Además, se procuró que en dichos emplazamientos el terreno fuera lo más homogéneo posible.



Figura 4.- Camino perimetral en las cercanías de Castildetierra.

En cada punto de medida que aparece en las sucesivas tablas de resultados hay que tener en cuenta que el valor de la tasa de dosis corresponde al promedio de varias medidas, que comprenden la realizada en el propio punto, indicado por sus coordenadas UTM (X,Y) así como otras en el entorno de ese punto, a una distancia aproximada de 25 metros alrededor del mismo. Estas medidas adicionales pueden estar efectuadas con el mismo equipo o simultáneamente con diferentes equipos y varias personas.



Figura 5.- Camino perimetral sin asfaltar y puntos de medida.

En los caminos transitables con vehículo a motor, como es el caso del perímetro, se realizaron medidas desde la unidad móvil con un equipo SPP2 y un Exploranium GR-130 a ambos lados del camino, a la vez que con otros equipos de los mismos modelos, otras dos personas realizaban medidas a 30 metros de distancia hacia el interior y exterior del perímetro.

Todos los factores de conversión pertinentes están aplicados ya para los resultados finales descritos en este informe.

Todos los equipos se situaron a una altura sobre el suelo de 100 cm, parámetro habitual para este tipo de estudios, efectuando medidas en continuo.

3.4.- Conversión de las lecturas a la magnitud dosis equivalente ambiental

Para expresar los resultados de todos los instrumentos de medida en la magnitud radiológica de interés dosis equivalente ambiental $H^*(10)$, es necesario transformar las lecturas de los diferentes equipos que se expresan en la magnitud de calibración exposición. Para ello se utiliza la siguiente expresión:

$$H^*(10)(nSv) = (W/e) \cdot 2.58E-4 \cdot F_k(E) \cdot X(\mu R) \cdot 1000$$

donde $(W/e)=34 \text{ J}\cdot\text{C}^{-1}$ es la energía necesaria para producir un par iónico en aire en condiciones normales,
 $2.58E-4 \text{ C kg}^{-1} \text{ R}^{-1}$ es el factor de conversión entre las unidades de ionización y

$F_k(E)$ es el factor de conversión de kerma en aire a dosis equivalente ambiental recomendado por ICRU e ISO que depende de la energía de la emisión gamma, siendo los valores para las fuentes empleadas $F_k(^{137}\text{Cs})=1.21 \text{ Sv/Gy}$ y $F_k(^{60}\text{Co})=1.16 \text{ Sv/Gy}$ (en ambos casos se ha despreciado la fracción de energía de los electrones secundarios convertida en radiación de frenado en aire).

3.5.- Incertidumbre de las medidas

La incertidumbre expandida asociada a los valores de las medidas que se incluyen en el presente documento oscila entre el 18 – 25 % y se ha obtenido multiplicando la incertidumbre típica de medición por el factor de cobertura $k=2$ que, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura aproximadamente el 95%

4.- RESULTADOS

A continuación se muestran los resultados de la campaña de medidas.

Estaba prevista la realización de unas 2000 medidas, pero finalmente se efectuaron un número significativamente superior de medidas (3291), dado que al mallado del interior del polígono de 50m x 50m, hay que añadir todo el perímetro y los caminos hacia el exterior, así como el gran número de pueblos pertenecientes a la Comunidad en los que se realizaron medidas in situ.

	Localizaciones	Nº Medidas entorno a cada posición	Nº Medidas Realizadas
Interior	471	3	1413
Perímetro	96+29+86+36 = 247	4	988
Tramos Exteriores	37+(56+66)+61 = 220	2	440
Pueblos	(15 x 30) = 450	1	450
TOTAL			3291

Tabla 1.- Número de medidas por zonas.

Los resultados de las medidas de tasa de exposición a la radiación gamma externa se expresan en unidades de Sievert por hora, concretamente en nanoSievert/hora (1 nSv/h = 10⁻⁹ Sv/h) y se muestran a continuación agrupados por zonas.

4.1.- Resultados en el Perímetro del Campo de Tiro

Se ha dividido todo el camino perimetral en cuatro tramos, tal y como se muestra en la *Figura 6*, que se corresponde con el camino resaltado en azul sobre la vista del mapa de la *Figura 7*.

- Tramo “Oeste”, señalado en color rojo en la *Figura 6*.
- Tramo “Sur”, señalado en color amarillo en la *Figura 6*.
- Tramo “Este”, señalado en color verde en la *Figura 6*.
- Tramo “Norte”, señalado en color azul en la *Figura 6*.

En las tablas que se muestran a continuación se detalla la localización con sus coordenadas UTM y la tasa de dosis de todo el perímetro separado según la clasificación por tramos indicada.

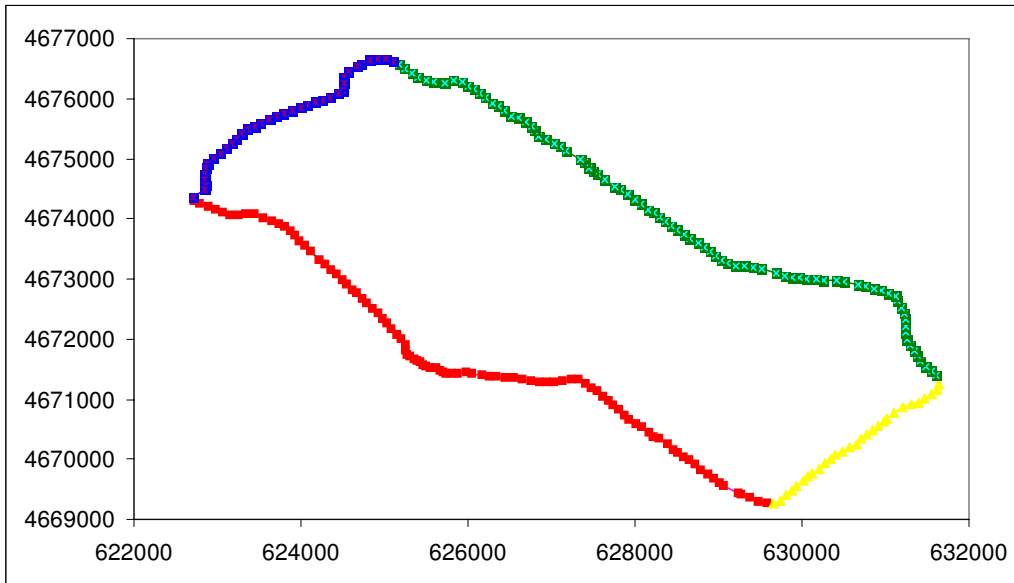


Figura 6.- Coordenadas UTM de los 4 tramos en que se divide el perímetro.

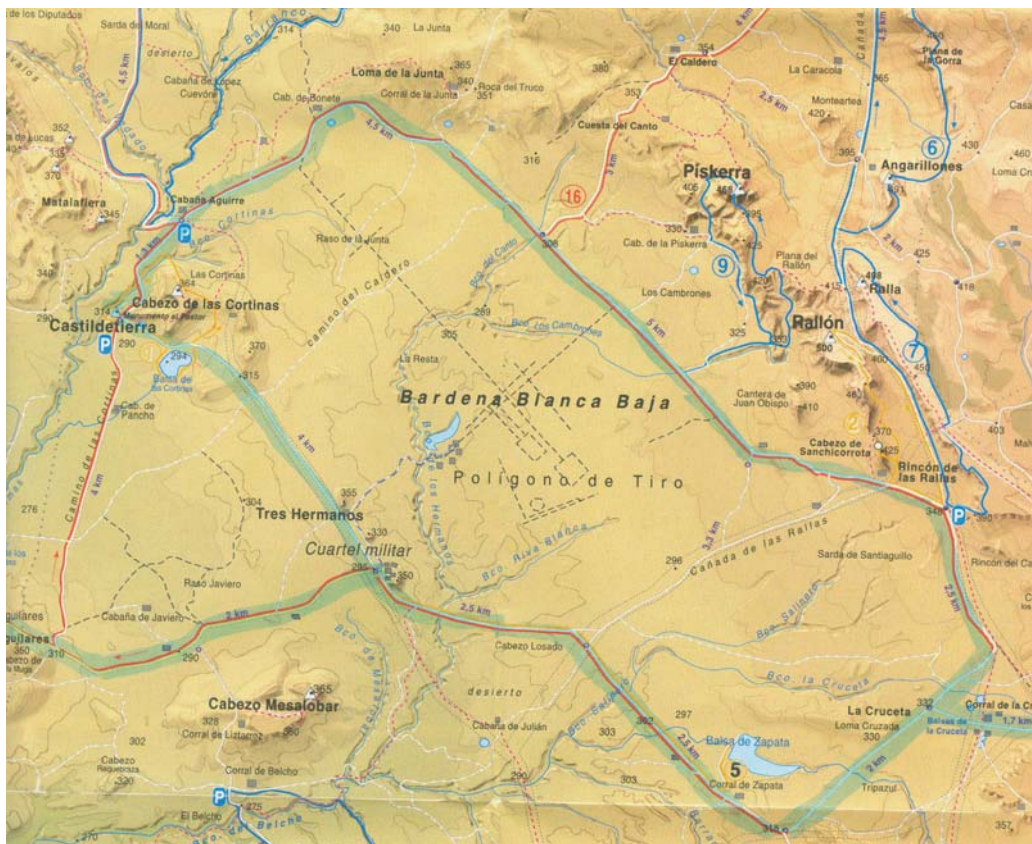


Figura 7.- Mapa del Polígono de Tiro con el perímetro resaltado.

Tramo perimetral *Oeste*:

Localización		Tasa de exposición (nSv/h)	Localización		Tasa de exposición (nSv/h)
X	Y		X	Y	
622721	4674292	52	625748	4671414	53
622794	4674255	56	625809	4671410	53
622894	4674201	61	625872	4671418	52
622990	4674151	56	625982	4671432	60
623075	4674105	61	626057	4671408	60
623164	4674047	61	626168	4671386	65
623251	4674051	61	626252	4671373	56
623351	4674080	52	626350	4671363	61
623455	4674071	56	626449	4671352	56
623553	4674013	56	626554	4671336	56
623657	4673951	48	626661	4671323	60
623740	4673901	57	626765	4671308	60
623813	4673854	52	626861	4671284	61
623871	4673785	52	626950	4671264	61
623926	4673711	52	627041	4671279	61
623990	4673627	57	627144	4671307	56
624048	4673549	43	627242	4671324	56
624113	4673465	53	627327	4671318	60
624233	4673311	57	627413	4671262	65
624297	4673232	47	627484	4671188	60
624366	4673144	56	627547	4671122	64
624427	4673066	56	627624	4671041	65
624494	4672980	57	627689	4670960	74
624557	4672900	61	627749	4670892	57
624626	4672811	56	627809	4670819	43
624673	4672750	57	627879	4670721	53
624737	4672667	56	627932	4670654	52
624798	4672585	52	628015	4670587	57
624870	4672494	52	628093	4670527	61
624923	4672414	61	628169	4670446	66
624984	4672319	60	628227	4670373	60
625029	4672250	65	628301	4670330	69
625094	4672151	60	628390	4670243	60
625149	4672066	60	628472	4670143	69
625199	4671989	56	628509	4670102	65
625253	4671906	61	628579	4670038	61
625256	4671796	48	628657	4669979	57
625279	4671721	44	628733	4669904	61
625305	4671704	39	628791	4669823	56
625365	4671665	44	628877	4669752	61
625394	4671638	48	628947	4669680	61
625433	4671603	49	629012	4669601	56
625467	4671574	44	629069	4669546	66
625506	4671542	44	629243	4669438	57
625554	4671524	53	629284	4669409	77
625616	4671508	53	629377	4669348	69
625666	4671472	44	629481	4669283	61
625700	4671444	44	629587	4669256	66

Tabla 2.- Resultados de tasa de exposición del tramo perimetral Oeste.

Tramo perimetral Sur:

Localización		Tasa de exposición (nSv/h)
X	Y	
629658	4669268	61
629741	4669313	65
629818	4669400	75
629878	4669467	61
629939	4669550	65
630009	4669635	57
630076	4669724	65
630126	4669772	60
630214	4669842	65
630272	4669926	51
630339	4670002	70
630403	4670075	65
630478	4670137	65
630562	4670189	65
630648	4670252	61
630715	4670332	65
630777	4670408	57
630843	4670474	48
630910	4670551	52
630981	4670632	52
631021	4670683	56
631098	4670768	61
631202	4670871	61
631308	4670907	57
631391	4670946	56
631474	4671004	56
631551	4671073	57
631614	4671153	47
631637	4671243	52

Tabla 3.- Resultados de tasa de exposición del tramo perimetral Sur.

Tramo perimetral *Este*:

Localización		Tasa de exposición (nSv/h)	Localización		Tasa de exposición (nSv/h)
X	Y		X	Y	
631603	4671384	61	628432	4673892	56
631544	4671471	56	628368	4673960	61
631477	4671534	57	628291	4674032	65
631413	4671635	48	628221	4674094	66
631379	4671721	53	628153	4674160	65
631341	4671808	48	628076	4674236	60
631296	4671908	53	627999	4674310	60
631257	4671995	53	627907	4674404	60
631242	4672117	53	627823	4674483	56
631244	4672204	52	627757	4674543	57
631249	4672324	52	627644	4674648	48
631222	4672414	61	627544	4674750	57
631185	4672509	51	627507	4674789	56
631146	4672638	61	627459	4674835	52
631117	4672714	56	627447	4674849	61
631033	4672766	56	627396	4674946	48
630945	4672798	61	627353	4674982	52
630859	4672831	52	627171	4675128	52
630754	4672869	61	627097	4675193	52
630671	4672902	56	627029	4675250	52
630506	4672960	61	626933	4675315	56
630408	4672967	52	626844	4675383	61
630259	4672986	61	626800	4675462	56
630176	4672994	52	626753	4675549	65
630045	4673008	61	626686	4675622	65
629970	4673015	52	626601	4675672	65
629887	4673024	52	626521	4675716	60
629797	4673044	57	626433	4675802	65
629696	4673098	57	626360	4675869	60
629510	4673178	56	626293	4675933	60
629509	4673179	52	626210	4676014	60
629417	4673202	57	626137	4676084	56
629307	4673205	56	626066	4676154	69
629208	4673214	52	625997	4676221	65
629108	4673253	52	625928	4676281	60
629039	4673316	61	625828	4676294	61
628970	4673381	52	625729	4676267	61
628897	4673451	52	625594	4676285	57
628828	4673516	57	625503	4676304	52
628750	4673588	61	625402	4676352	52
628660	4673673	56	625328	4676418	56
628591	4673735	52	625247	4676489	47
628506	4673817	57	625174	4676558	52

Tabla 4.- Resultados de tasa de exposición del tramo perimetral Este.

Tramo perimetral *Norte*:

Localización		Tasa de exposición (nSv/h)
X	Y	
625104	4676617	52
625021	4676658	57
624921	4676668	52
624827	4676640	52
624724	4676576	57
624676	4676533	52
624571	4676451	52
624523	4676350	61
624513	4676252	61
624493	4676139	56
624446	4676085	61
624349	4676025	56
624255	4675979	56
624176	4675940	52
624072	4675887	61
624008	4675852	65
623892	4675797	70
623796	4675748	65
623703	4675700	60
623618	4675648	65
623526	4675590	60
623455	4675542	61
623367	4675482	65
623293	4675418	60
623224	4675334	61
623166	4675257	52
623097	4675177	61
623029	4675092	56
622954	4675002	56
622885	4674916	61
622856	4674842	56
622847	4674756	61
622837	4674659	61
622860	4674565	62
622840	4674476	60
622707	4674373	51

Tabla 5.- Resultados de tasa de exposición del tramo perimetral Norte.

4.2.- Resultados en el Interior del Campo de Tiro

En la *Figura 8* se han posicionado todos los puntos del interior del Polígono de Tiro donde cuatro personas han realizado las medidas a pie con monitores de radiación portátiles.

A simple vista se aprecia un área donde el muestreo ha sido más intenso dado que se corresponde con la zona de blancos, donde impacta la munición disparada desde los aviones, y parece más razonable que sea analizada en profundidad, puesto que cabía la posibilidad de encontrar valores de radiación superiores al fondo natural o a otras zonas de estudio.

En la *Figura 9* se adjunta una imagen desde satélite de la principal zona de estudio, donde se ha resaltado la denominada Línea de Falta, delimitada por dos torres como la que se aprecia en la *Figura 10* y que indica desde el aire la zona a partir de la cual se encuentran los blancos y dianas. La misma Línea se resalta en la *Figura 8* para apreciar en detalle la posición relativa de los puntos de medida.

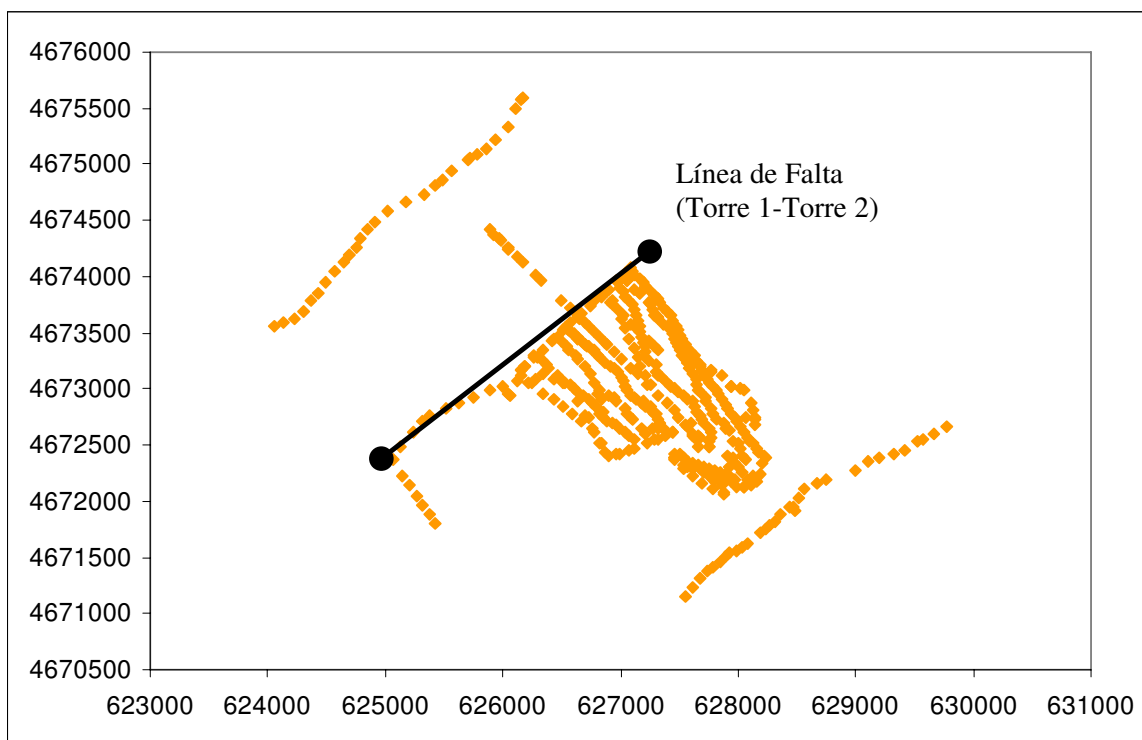


Figura 8.- Posiciones de los puntos de medida del interior del Campo de Tiro.

La zona señalada en la *Figura 9* como Blanco Principal corresponde a la mayor concentración de elementos que pueden ser utilizados como objetivos de tiro, como son vehículos, aviones, dianas, etc.; El Blanco Reverso se corresponde con una diana situada en el sentido opuesto al habitual para las prácticas de tiro y la zona de Blancos Reales se corresponde con el único área donde se utiliza munición real para las prácticas de tiro, donde se ubican entre otros dianas y muros de hormigón.

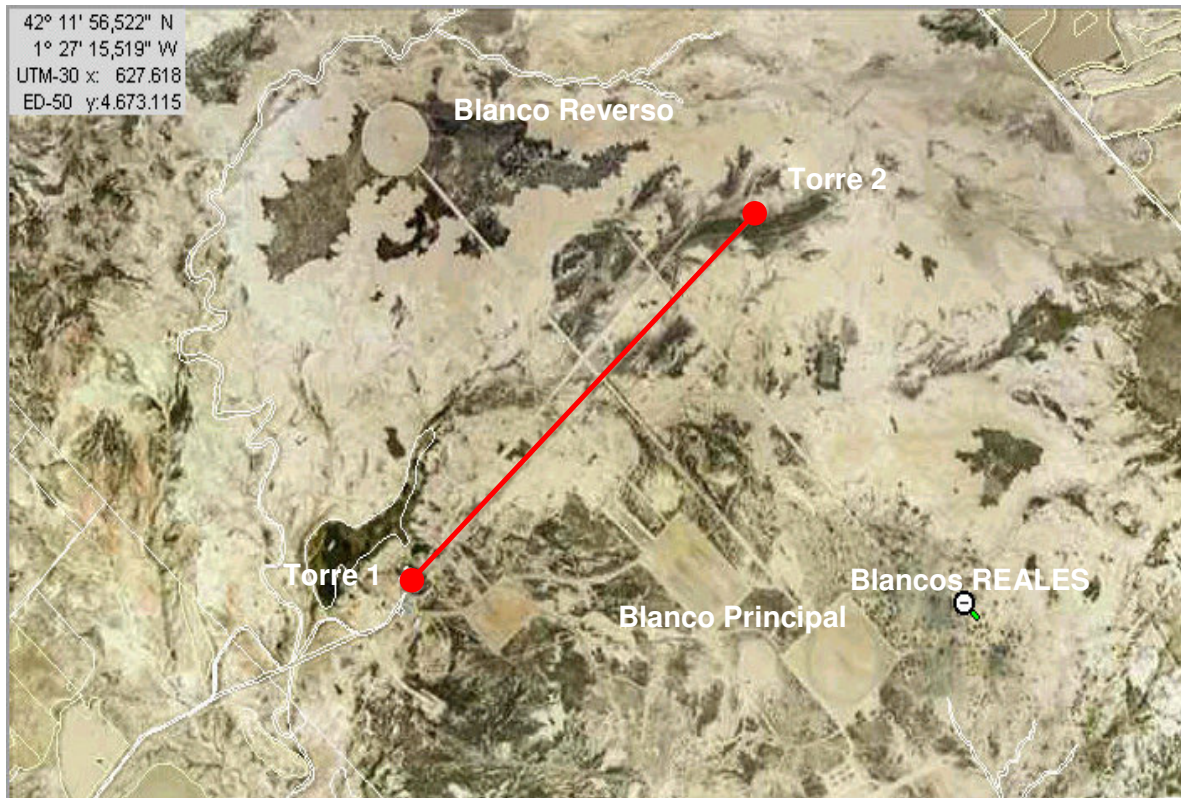


Figura 9.- Vista desde satélite del interior del Campo de Tiro.



Figura 10.- Torre 2 situada en el extremo de la Línea de Falta más alejado de la entrada al Cuartel Militar.

Interior del Campo de Tiro (puntos 1 a 100):

Localización		Tasa de exposición (nSv/h)	Localización		Tasa de exposición (nSv/h)
X	Y		X	Y	
627079	4674080	69	627679	4671311	79
627034	4674027	64	627744	4671381	73
626964	4673961	65	627783	4671415	96
626892	4673890	66	627845	4671465	96
626795	4673798	60	627887	4671504	88
626741	4673746	69	627923	4671539	88
626672	4673678	60	627989	4671563	80
626656	4673628	74	628027	4671587	88
626693	4673592	69	628077	4671623	88
626733	4673551	65	628190	4671723	96
626778	4673508	74	628232	4671760	88
626825	4673460	73	628273	4671792	64
626863	4673420	78	628310	4671818	64
626888	4673392	69	628362	4671876	72
626942	4673337	69	628438	4671943	80
627013	4673267	65	628507	4672029	96
627086	4673189	70	628568	4672115	96
627144	4673131	70	628670	4672164	88
627230	4673041	69	628753	4672184	88
627198	4672896	79	628992	4672278	80
627252	4672843	65	629103	4672356	88
627308	4672785	74	629197	4672389	80
627369	4672643	74	629327	4672424	72
627445	4672618	70	629416	4672454	80
627567	4672658	76	629531	4672531	72
627609	4672593	76	629576	4672552	64
626632	4673648	65	629661	4672600	72
626580	4673588	65	629773	4672668	80
626516	4673527	69	628481	4671921	72
626432	4673446	74	628466	4671952	80
626187	4673203	69	624064	4673551	64
626153	4673117	69	624134	4673590	80
626004	4673022	61	624228	4673630	88
625894	4672982	52	624303	4673695	80
625750	4672922	61	624367	4673779	80
625625	4672877	56	624437	4673855	80
625509	4672826	56	624492	4673946	80
625383	4672768	47	624568	4674054	80
625311	4672713	52	624643	4674133	80
625234	4672620	47	624692	4674188	72
625123	4672487	56	624750	4674265	72
625062	4672366	56	624794	4674339	72
625144	4672225	51	624850	4674417	88
625199	4672143	61	624911	4674492	88
625260	4672052	56	625017	4674577	80
625316	4671973	51	625176	4674668	88
625374	4671887	51	625325	4674732	88
625416	4671796	64	625421	4674816	96
627553	4671157	61	625478	4674865	88
627617	4671240	65	625566	4674943	88

Tabla 6.1.- Resultados de tasa de exposición del interior del Campo de Tiro.

Interior del Campo de Tiro (puntos 101 a 200):

Localización		Tasa de exposición (nSv/h)	Localización		Tasa de exposición (nSv/h)
X	Y		X	Y	
625701	4675045	96	628158	4672467	80
625720	4675054	96	628176	4672430	60
625779	4675091	104	628214	4672397	80
625861	4675143	96	628229	4672382	90
625937	4675220	104	628209	4672337	70
626045	4675327	96	628195	4672248	90
626103	4675500	104	628045	4672127	60
626153	4675580	112	627986	4672132	70
626175	4675592	104	627937	4672176	50
627096	4674054	60	627890	4672198	90
627122	4674018	40	627832	4672211	70
627158	4673988	85	627799	4672229	60
627188	4673950	80	627756	4672245	80
627217	4673914	70	627707	4672266	50
627245	4673880	90	627670	4672291	60
627293	4673834	70	627627	4672309	100
627321	4673804	60	627534	4672330	60
627340	4673768	55	627454	4672387	80
627361	4673728	80	627322	4672642	70
627391	4673693	70	627336	4672690	60
627420	4673652	60	627311	4672729	80
627447	4673608	70	627283	4672772	70
627471	4673565	80	627250	4672810	100
627488	4673525	120	627215	4672839	70
627501	4673484	90	627176	4672884	90
627516	4673450	110	627136	4672914	60
627546	4673395	130	627113	4672923	60
627567	4673367	90	627079	4672939	80
627596	4673331	60	627058	4672983	85
627623	4673292	80	627042	4673018	70
627643	4673246	60	627017	4673076	60
627673	4673211	90	627001	4673108	75
627691	4673170	70	626976	4673148	35
627705	4673126	80	626942	4673182	30
627734	4673088	100	626908	4673206	20
627748	4673054	90	626872	4673240	50
627782	4673020	100	626826	4673287	40
627814	4672988	70	626770	4673341	80
627834	4672952	60	626734	4673377	80
627862	4672912	100	626694	4673398	70
627889	4672867	100	626662	4673430	90
627916	4672829	60	626637	4673452	100
627943	4672779	70	626599	4673492	90
627970	4672741	80	626554	4673533	80
627994	4672706	80	626540	4673545	70
628020	4672671	70	626062	4672944	60
628048	4672621	50	627629	4672570	70
628076	4672574	80	627655	4672582	65
628095	4672536	70	627659	4672574	75
628128	4672525	60	627674	4672566	80

Tabla 6.2.- Resultados de tasa de exposición del interior del Campo de Tiro.

Interior del Campo de Tiro (puntos 201 a 300):

Localización		Tasa de exposición (nSv/h)	Localización		Tasa de exposición (nSv/h)
X	Y		X	Y	
626050	4674248	70	627237	4673430	80
626049	4674256	70	627282	4673381	88
626630	4673658	64	627318	4673346	104
626567	4673723	72	627575	4673237	96
626502	4673789	72	627616	4673220	96
626331	4673965	72	627676	4673203	88
626285	4674012	72	627763	4673174	96
626175	4674124	72	627859	4673121	96
626126	4674174	80	627946	4673027	96
625982	4674321	88	628014	4673003	88
625962	4674343	96	628047	4672995	80
625926	4674380	90	628126	4672805	72
625883	4674424	96	628136	4672750	72
627443	4672621	72	628064	4672744	72
627374	4672582	80	628144	4672726	72
627313	4672554	80	628141	4672673	72
627287	4672545	72	628117	4672875	72
627223	4672515	72	627947	4673025	88
627117	4672472	72	627776	4673157	88
627064	4672449	80	626969	4673947	45
626999	4672423	80	626994	4673908	45
626894	4672396	80	627025	4673863	50
626866	4672443	72	627043	4673823	45
626825	4672526	64	627072	4673784	55
626782	4672609	64	627100	4673746	50
626698	4672767	80	627109	4673700	50
626637	4672887	80	627127	4673656	43
626505	4673050	88	627147	4673613	38
626434	4673088	96	627157	4673562	43
626342	4673134	96	627167	4673516	43
626283	4673086	104	627184	4673466	48
626210	4673062	96	627193	4673421	45
626120	4673064	96	627208	4673376	45
626153	4673161	88	627211	4673330	45
626187	4673203	72	627214	4673284	45
626269	4673285	72	627239	4673249	45
626338	4673350	72	627301	4673209	40
626423	4673434	72	627301	4673160	43
626534	4673542	72	627320	4673116	43
626592	4673499	80	627347	4673106	40
626634	4673458	80	627386	4673066	40
626712	4673388	88	627423	4673027	45
626760	4673345	88	627459	4672998	45
626810	4673297	88	627495	4672973	50
626837	4673826	80	627537	4672948	45
626917	4673777	80	627574	4672916	45
626935	4673756	80	627621	4672898	35
627022	4673660	80	627621	4672849	43
627092	4673583	72	627642	4672802	48
627137	4673536	80	627669	4672765	53

Tabla 6.3.- Resultados de tasa de exposición del interior del Campo de Tiro.

Interior del Campo de Tiro (puntos 301 a 400):

Localización		Tasa de exposición (nSv/h)	Localización		Tasa de exposición (nSv/h)
X	Y		X	Y	
627694	4672737	45	626381	4673181	50
627709	4672698	45	626363	4673212	48
627747	4672655	45	626332	4673249	35
627768	4672612	48	626291	4673275	35
627770	4672565	40	626270	4673292	40
627754	4672528	43	626889	4673876	70
627757	4672478	35	626937	4673781	70
627951	4672380	25	626975	4673708	60
627978	4672336	28	627003	4673628	60
628010	4672301	25	627040	4673545	60
628040	4672257	23	627076	4673452	60
628080	4672193	23	627112	4673360	60
628104	4672148	25	627143	4673279	60
628048	4672129	40	627169	4673200	60
627971	4672194	35	627203	4673119	60
627932	4672219	45	627260	4673037	60
627889	4672237	30	627318	4672948	60
627842	4672253	30	627395	4672877	60
627792	4672274	35	627455	4672809	60
627748	4672284	25	627493	4672742	60
627703	4672309	48	627545	4672672	60
627664	4672327	43	627602	4672692	60
627617	4672344	50	627620	4672589	60
627570	4672356	35	627666	4672482	60
627533	4672384	42	627757	4672479	60
627534	4672384	53	627908	4672406	60
627512	4672418	45	627925	4672312	60
627457	4672416	35	627960	4672198	40
627453	4672394	35	627878	4672068	60
627121	4672547	45	627876	4672071	60
627077	4672586	43	627789	4672110	60
627040	4672614	30	627691	4672160	60
626998	4672642	35	627606	4672224	60
626969	4672673	50	627536	4672289	60
626926	4672694	40	627462	4672372	60
626890	4672711	43	627332	4672663	60
626859	4672750	50	626961	4672414	60
626821	4672774	28	626831	4672520	40
626854	4672793	25	626759	4672642	60
626825	4672817	45	626732	4672748	60
626791	4672841	23	626672	4672713	60
626758	4672872	25	626591	4672776	60
626721	4672905	48	626515	4672835	60
626684	4672942	53	626431	4672902	60
626642	4672968	42	626347	4672964	60
626607	4673000	30	626249	4673060	60
626571	4673033	35	626148	4673170	60
626531	4673056	35	627035	4674003	70
626492	4673086	42	627062	4673968	65
626463	4673125	50	627062	4673968	72

Tabla 6.4.- Resultados de tasa de exposición del interior del Campo de Tiro.

Interior del Campo de Tiro (puntos 401 a 471):

Localización		Tasa de exposición (nSv/h)	Localización		Tasa de exposición (nSv/h)
X	Y		X	Y	
627120	4673889	88	627102	4672734	55
627162	4673856	93	627104	4672734	75
627165	4673847	70	627052	4672782	65
627239	4673775	75	627035	4672826	65
627255	4673747	50	626967	4672887	70
627276	4673711	50	626945	4672925	80
627293	4673660	54	626898	4672946	80
627312	4673634	75	626839	4672911	55
627325	4673618	80	626818	4672992	65
627358	4673577	83	626799	4672962	80
627406	4673545	85	626776	4673051	70
627435	4673493	70	626749	4673136	63
627455	4673451	75	626699	4673197	60
627472	4673416	80	626630	4673267	60
627492	4673375	65	626612	4673304	70
627510	4673340	70	626563	4673348	70
627526	4673305	70	626536	4673383	80
627548	4673266	65	626490	4673437	89
627561	4673235	75	626460	4673469	75
627589	4673187	70	626044	4672963	70
627611	4673136	70	626640	4673446	123
627642	4673094	65			
627647	4673042	65			
627654	4672997	75			
627678	4672976	70			
627719	4672929	65			
627721	4672900	70			
627765	4672827	70			
627786	4672781	70			
627817	4672733	65			
627872	4672691	70			
627898	4672653	60			
627924	4672626	65			
627952	4672537	70			
628006	4672520	65			
628010	4672467	60			
628036	4672407	60			
628065	4672370	65			
628133	4672225	75			
628158	4672179	70			
628043	4672130	70			
627865	4672141	75			
627806	4672187	65			
627768	4672216	65			
627706	4672255	55			
627620	4672285	65			
627573	4672307	60			
627266	4672647	65			
627207	4672607	65			
627171	4672651	60			

Tabla 6.5.- Resultados de tasa de exposición del interior del Campo de Tiro.

Destacar como puntos singulares las medidas realizadas en el parque de chatarra (626062, 4672944), próximo a la Torre 1, donde se almacenan temporalmente los restos de chatarra metálica antes de su retirada por una empresa de recuperación y reciclaje, así como en el cementerio de bombas de la USAF (United States Air Force), zona empleada por la Fuerza Aérea de Estados Unidos antes del año 1992 para prácticas de tiro. En ningún caso se observó ninguna anomalía en la tasa de dosis. En las *Figuras 11* y *12* se aprecian bidones blancos que forman una diana desde el aire y una de las dianas verticales utilizadas en las prácticas de tiro, respectivamente.



Figura 11.- Diana vista desde el aire formada por bidones blancos.



Figura 12.- Diana vertical del interior del Campo de Tiro.

4.3.- Resultados en el Exterior próximo al Campo de Tiro

Se han dividido todas las medidas realizadas hacia el exterior desde el perímetro en tres tramos, tal y como aparece en la *Figura 13*.

- Tramo señalado en color rojo en la *Figura 13*, que comprende el recorrido por camino sin pavimentar entre Castildetierra, ubicado en el propio perímetro, y Aguilares.
- Tramo de color verde en la *Figura 13* que representa el recorrido por carretera asfaltada entre la entrada al Cuartel Militar y el cruce con la carretera NA-134 que une las localidades de Tudela y Arguedas.
- Tramo de color amarillo en la *Figura 13* que indica el camino de tierra que une el perímetro del Polígono de Tiro con el pueblo de Pinsoro (Aragón).

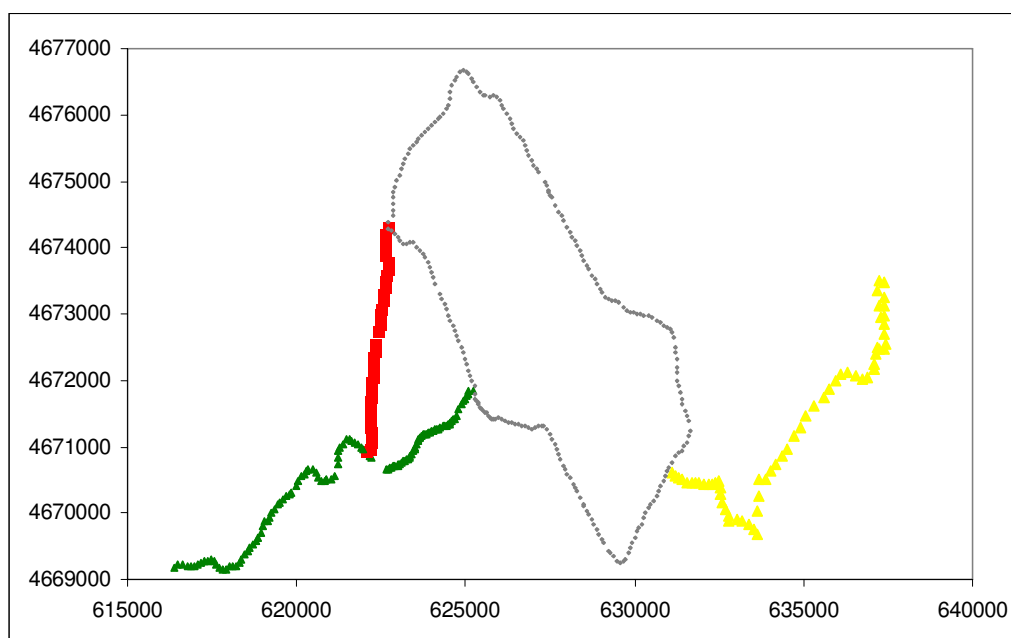


Figura 13.- Localización de los 3 tramos en el exterior próximo al perímetro.

En las tablas que se muestran a continuación se detalla la localización con sus coordenadas UTM y la tasa de dosis de todos los recorridos exteriores al Campo de Tiro, separadas según la clasificación por tramos indicada anteriormente.

Tramo exterior Castildetierra - Aguilares:

Localización		Tasa de exposición (nSv/h)
X	Y	
622692	4674317	72
622605	4674202	48
622601	4674130	56
622596	4674045	64
622592	4673948	72
622613	4673868	64
622684	4673778	64
622686	4673683	72
622668	4673586	72
622618	4673506	72
622590	4673392	72
622551	4673293	80
622538	4673204	80
622507	4673086	80
622483	4672991	80
622437	4672858	60
622406	4672755	65
622329	4672546	74
622327	4672536	65
622298	4672454	65
622277	4672355	74
622278	4672258	66
622281	4672180	74
622279	4672050	65
622234	4671961	65
622200	4671859	60
622193	4671744	69
622155	4671687	69
622161	4671578	60
622181	4671480	74
622162	4671396	69
622161	4671285	65
622203	4671211	61
622227	4671152	56
622226	4671053	61
622169	4670952	65
622080	4670925	60

Tabla 7.- Resultados de tasa de exposición de un tramo exterior al Campo de Tiro.

Tramo exterior Entrada Cuartel Militar hasta cruce con pista de tierra de Aguilares:

Localización		Tasa de exposición (nSv/h)	Localización		Tasa de exposición (nSv/h)
X	Y		X	Y	
622157	4670868	53	623814	4671193	65
622196	4670840	52	623865	4671201	65
622667	4670652	52	623909	4671210	60
622722	4670671	52	623961	4671221	60
622765	4670683	57	624006	4671230	60
622813	4670697	52	624056	4671242	61
622865	4670706	57	624106	4671253	56
622914	4670712	48	624147	4671262	61
622984	4670720	48	624202	4671275	61
623015	4670726	57	624262	4671293	56
623064	4670743	57	624315	4671303	65
623113	4670759	61	624384	4671305	61
623163	4670776	56	624419	4671309	61
623199	4670789	56	624470	4671329	57
623245	4670805	57	624514	4671348	56
623291	4670820	61	624560	4671367	56
623333	4670839	61	624609	4671387	61
623371	4670864	56	624658	4671407	56
623414	4670899	61	624700	4671425	61
623454	4670927	56	624742	4671465	61
623490	4670960	52	624806	4671568	60
623521	4670999	61	624867	4671634	52
623550	4671036	56	624933	4671693	60
623582	4671076	52	624969	4671724	60
623613	4671116	56	625009	4671758	65
623649	4671150	56	625060	4671804	64
623712	4671170	47	625099	4671837	73
623760	4671179	52	625215	4671831	69

Tabla 8.- Resultados de tasa de exposición de un tramo exterior al Campo de Tiro.

Tramo exterior Aguilares hasta cruce con carretera NA-134 (Tudela-Arguedas):

Localización		Tasa de exposición (nSv/h)	Localización		Tasa de exposición (nSv/h)
X	Y		X	Y	
621984	4670957	60	619266	4670000	57
621898	4670997	51	619211	4669920	52
621837	4671026	60	619150	4669884	48
621743	4671070	56	619069	4669886	53
621632	4671099	56	618989	4669813	52
621564	4671117	61	618934	4669706	51
621466	4671112	60	618866	4669638	51
621370	4671046	56	618788	4669587	56
621284	4670983	51	618703	4669539	56
621235	4670929	47	618620	4669480	55
621204	4670840	51	618536	4669427	60
621204	4670730	56	618462	4669371	60
621121	4670554	56	618382	4669305	64
621018	4670508	60	618304	4669246	64
620904	4670501	60	618208	4669202	60
620828	4670489	60	618109	4669195	55
620733	4670477	55	618009	4669208	60
620648	4670538	56	617915	4669160	60
620578	4670600	64	617794	4669150	61
620505	4670666	69	617731	4669185	61
620345	4670658	60	617642	4669220	51
620296	4670636	55	617567	4669284	56
620229	4670590	55	617486	4669313	56
620147	4670555	68	617348	4669283	56
620019	4670473	60	617288	4669270	61
619966	4670410	52	617189	4669248	56
619855	4670312	56	617098	4669229	65
619793	4670285	56	616979	4669210	61
619692	4670248	64	616880	4669211	60
619598	4670209	73	616755	4669213	56
619520	4670155	60	616632	4669214	61
619428	4670123	69	616507	4669216	56
619337	4670068	56	616390	4669182	60

Tabla 9.- Resultados de tasa de exposición de un tramo exterior al Campo de Tiro.

Tramo exterior Perímetro – Pinsoro por pista de tierra:

Localización		Tasa de exposición (nSv/h)	Localización		Tasa de exposición (nSv/h)
X	Y		X	Y	
631093	4670601	66	634525	4670972	65
631193	4670566	70	634724	4671157	65
631313	4670529	70	634888	4671297	70
631402	4670502	74	635075	4671463	65
631562	4670470	65	635312	4671614	78
631690	4670461	70	635578	4671748	73
631790	4670457	70	635745	4671863	69
631890	4670452	65	635943	4671991	69
632066	4670442	61	636095	4672091	73
632188	4670433	61	636318	4672127	65
632297	4670444	57	636519	4672068	47
632383	4670462	57	636733	4672027	56
632503	4670476	62	636902	4672037	46
632539	4670372	71	637083	4672167	56
632551	4670286	66	637102	4672243	69
632603	4670153	70	637136	4672393	51
632681	4670065	69	637163	4672487	56
632768	4669967	74	637250	4672473	56
632776	4669884	74	637376	4672462	55
633049	4669911	65	637419	4672542	51
633180	4669883	60	637406	4672709	56
633392	4669818	57	637393	4672847	51
633519	4669748	57	637377	4672985	47
633628	4669689	52	637380	4673129	42
633634	4670034	54	637384	4673256	52
633673	4670268	77	637388	4673469	47
633652	4670502	52	637226	4673507	42
633854	4670519	61	637163	4673356	56
634039	4670630	66	637220	4673120	47
634185	4670730	61	637272	4672951	52
634382	4670858	75			

Tabla 10.- Resultados de tasa de exposición de un tramo exterior al Campo de Tiro.

4.4.- Resultados en los pueblos pertenecientes a la Comunidad de Bardenas Reales

Se encuentran situados en todos los puntos cardinales alrededor del Parque Natural de Bardenas Reales de Navarra, y los resultados de las medidas realizadas se muestran en la *Figura 20* con un círculo cuyo color varía en función del valor medio de tasa de dosis obtenido.

En cada pueblo se realizaron un total de 30 medidas sin importar la posición exacta del GPS y cumpliendo unos criterios uniformes, de tal manera que en todos los pueblos bajo estudio hay un pequeño número de valores de tasa de dosis sobre la carretera asfaltada de acceso al mismo o las carreteras pavimentadas interiores entre sus viviendas, y la mayor parte de las medidas se corresponden con emplazamientos amplios y libres de obstáculos masivos como edificios o postes, como en las fotografías de las *Figuras 14 y 15*.



Figura 14.- Exterior del pueblo de Pinsoro donde se realizaron medidas.



Figura 15.- Otra localización de Pinsoro (Aragón).

A continuación se presenta en la *Tabla 11* los valores medios, su desviación estándar y los valores mínimo y máximo para cada una de las localidades del entorno del Parque Natural de Bardenas Reales, en su mayoría pertenecientes a la Junta de Bardenas y ubicadas en Navarra, donde se realizaron medidas de radiación y mostradas por orden alfabético.

Localidad	Tasa de exposición (nSv/h)		
	<i>Valor Medio</i>	<i>Desviación Estándar</i>	<i>Rango (mín-máx)</i>
Arguedas (Navarra)	65	10	48-80
Bañuel (Navarra)	71	7	64-80
Cabanillas (Navarra)	68	9	56-88
Cadreita (Navarra)	74	8	64-88
Caparoso (Navarra)	61	7	48-72
Carcastillo (Navarra)	67	6	56-80
Cortes (Navarra)	65	13	48-88
Fustiñana (Navarra)	66	10	48-80
Mélida (Navarra)	79	7	64-88
Pinsoro (Aragón)	69	5	64-80
Rada (Navarra)	73	10	56-88
Santacara (Navarra)	64	7	48-72
Tudela (Navarra)	62	12	48-88
Valtierra (Navarra)	72	8	56-88
Villafranca (Navarra)	78	9	64-96

Tabla 11. - Valores representativos en las localidades del entorno del Parque Natural.

Del total de 15 localidades en las que se realizaron medidas en 30 ubicaciones diferentes, los valores medios encontrados en el conjunto de localidades oscilan entre 61 nSv/h y 79 nSv/h, con una media del conjunto de las 450 medidas efectuadas de 69 ± 10 nSv/h y un mínimo y máximo totales de 48 nSv/h y 96 nSv/h respectivamente.

4.5.- Resumen de todas la medidas realizadas

Por último se presentan en forma gráfica y numérica los principales resultados alcanzados en este estudio.

Como resumen de dichas medidas se muestra en la *Tabla 12* los parámetros estadísticos más importantes.

	Número Medidas	Tasa de exposición (nSv/h)			
		Media Aritmética	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
Perímetro	988	57	6	39	77
Interior	1413	67	19	20	130
Exterior	440	60	8	42	80
Pueblos	450	69	10	48	96
TOTAL	3291	63	15	20	130

Tabla 12.- Parámetros estadísticos de las medidas de la tasa de dosis equivalente ambiental expresados en (nSv/h).

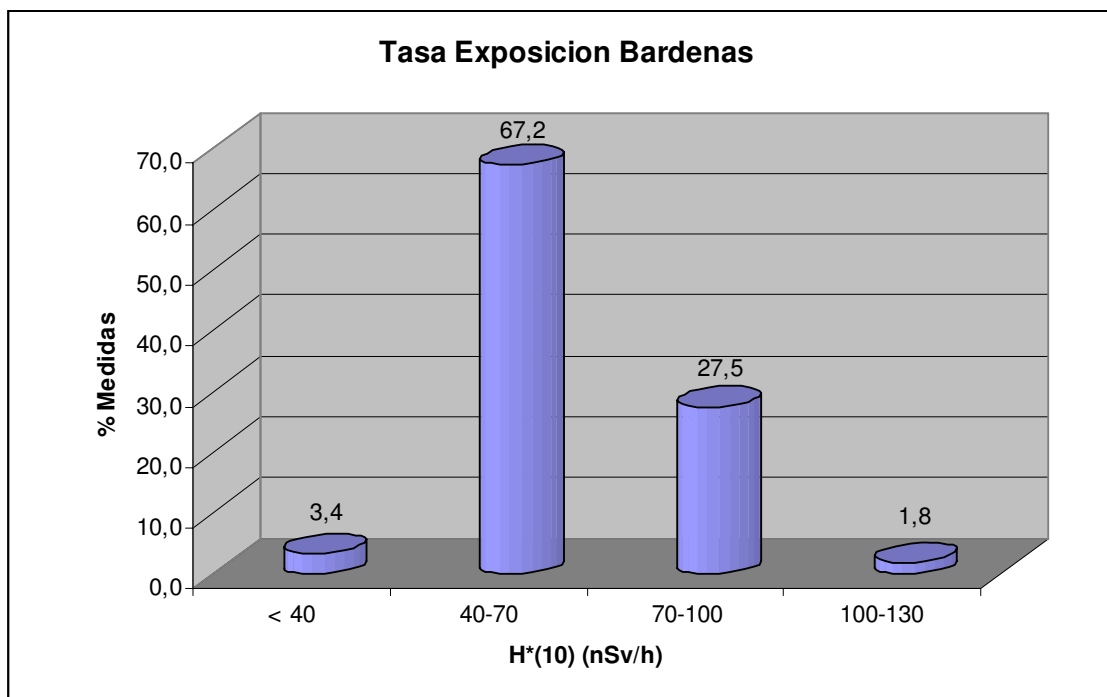


Figura 16.- Distribución en rangos de 30 nSv/h del número de medidas (%)

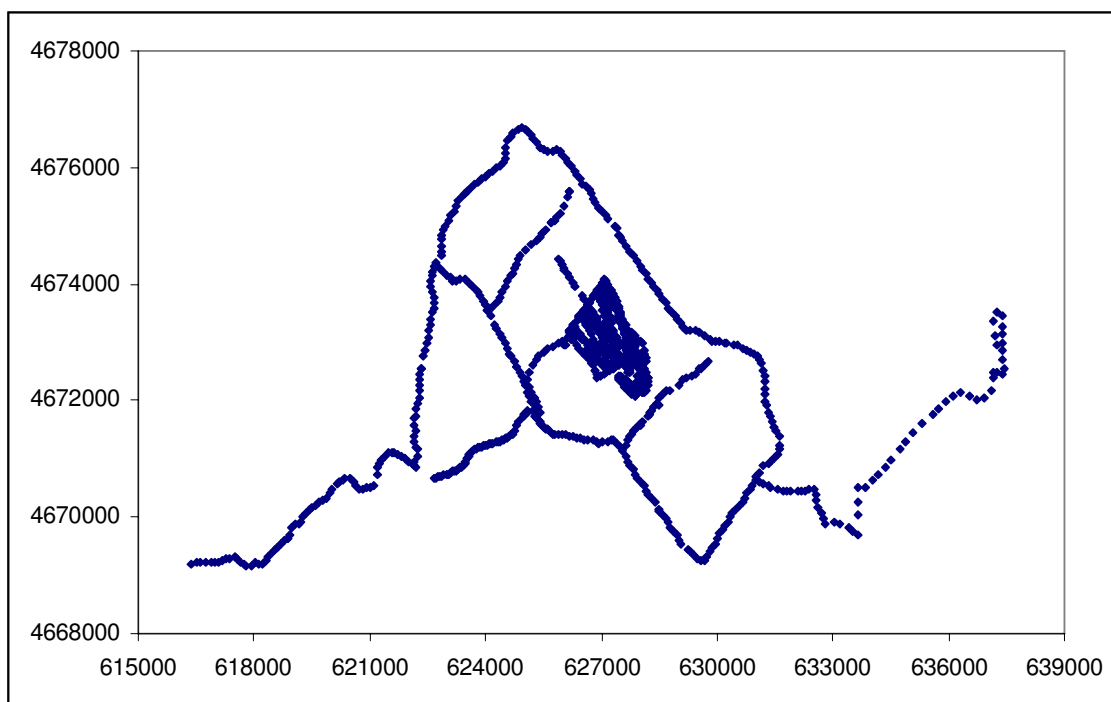


Figura 17.- Localizaciones de las medidas realizadas excluyendo los pueblos.

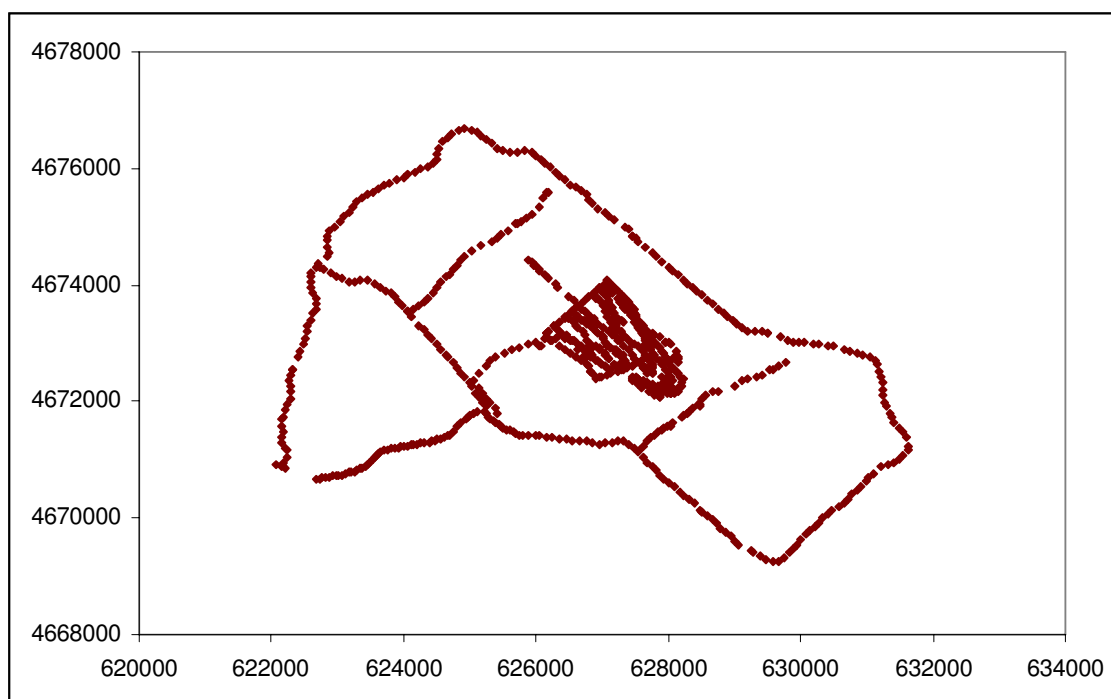


Figura 18.- Localización de las medidas consideradas en la interpolación.

Como consecuencia de todas las medidas realizadas en las proximidades del campo de tiro, en el propio perímetro y en su interior, que son las que aparecen posicionadas en la *Figura 18*, se genera con un software específico una representación de todo el Polígono de Tiro como la que se aprecia en la *Figura 19*, para que se ha empleado un tamaño de rejilla inferior a 100 m x 100 m y un total de 7800 nodos.

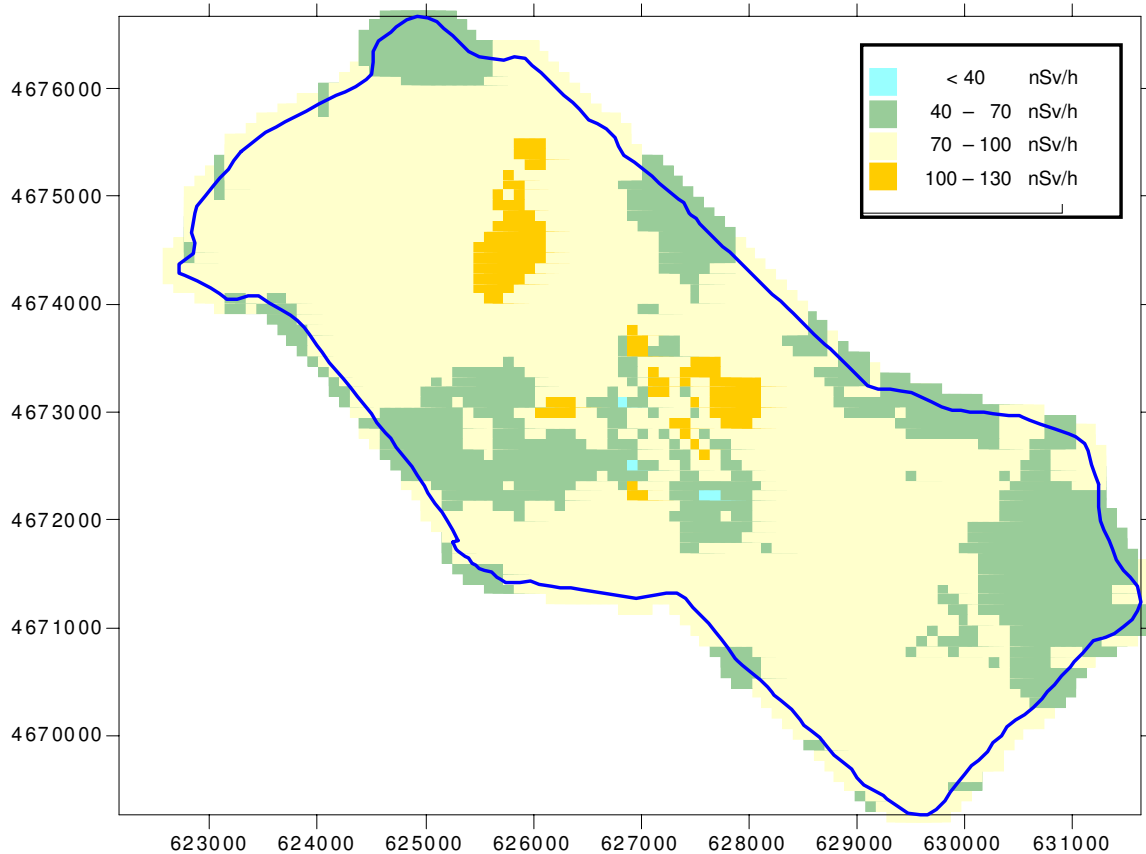


Figura 19.- Mapa obtenido por interpolación de las medidas realizadas en el Polígono de Tiro y sus proximidades

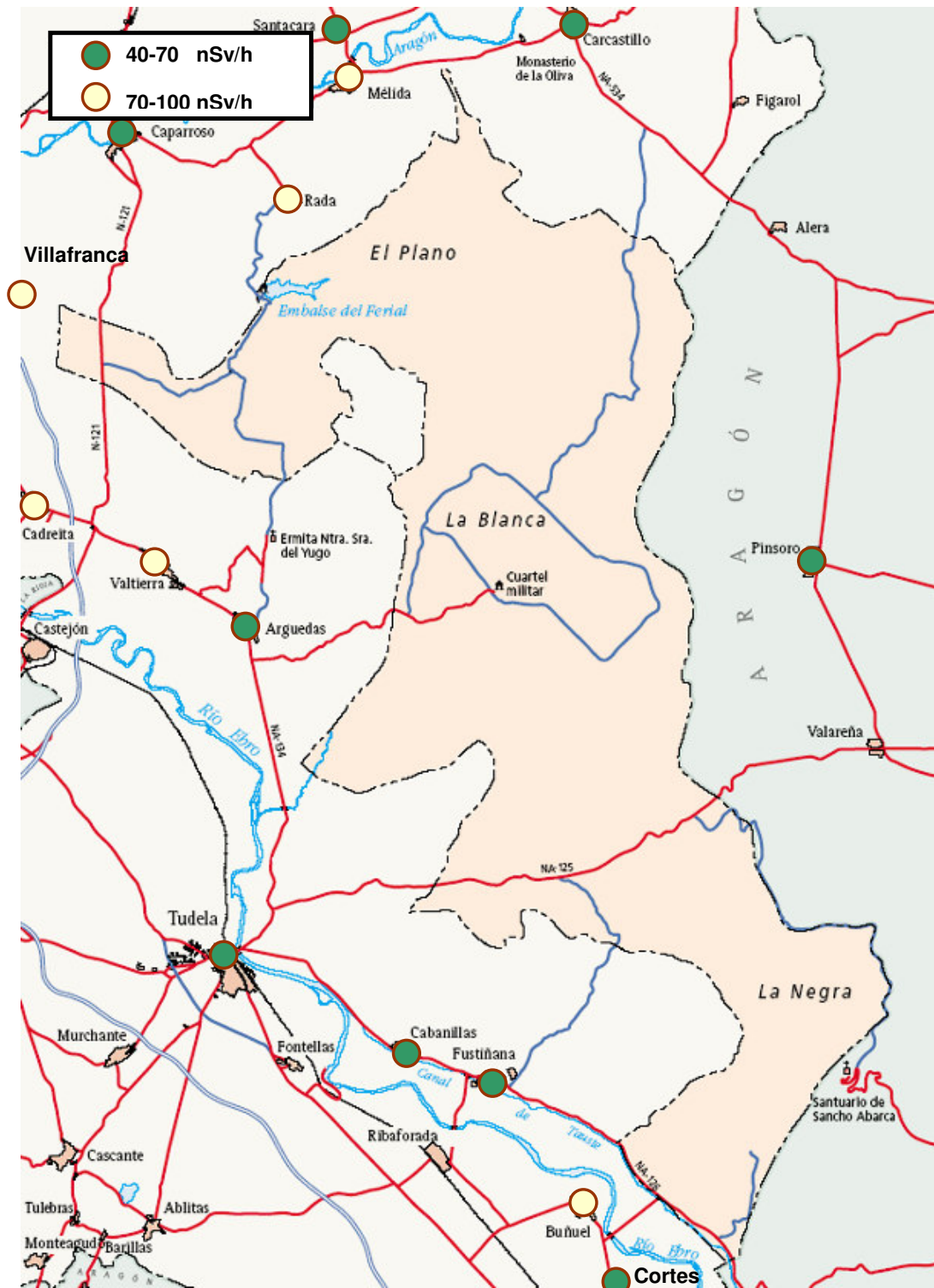


Figura 20.- Mapa con las localidades exteriores al Parque Natural y su identificación por color de la tasa de dosis media.

5.- CONCLUSIONES

En el proyecto MARN (Mapa de Radiación Gamma Natural) llevado a cabo por el Consejo de Seguridad Nuclear junto con diferentes organismos regionales muestra los niveles promedio para cada zona de España, tal y como se aprecia en la *Figura 21*.

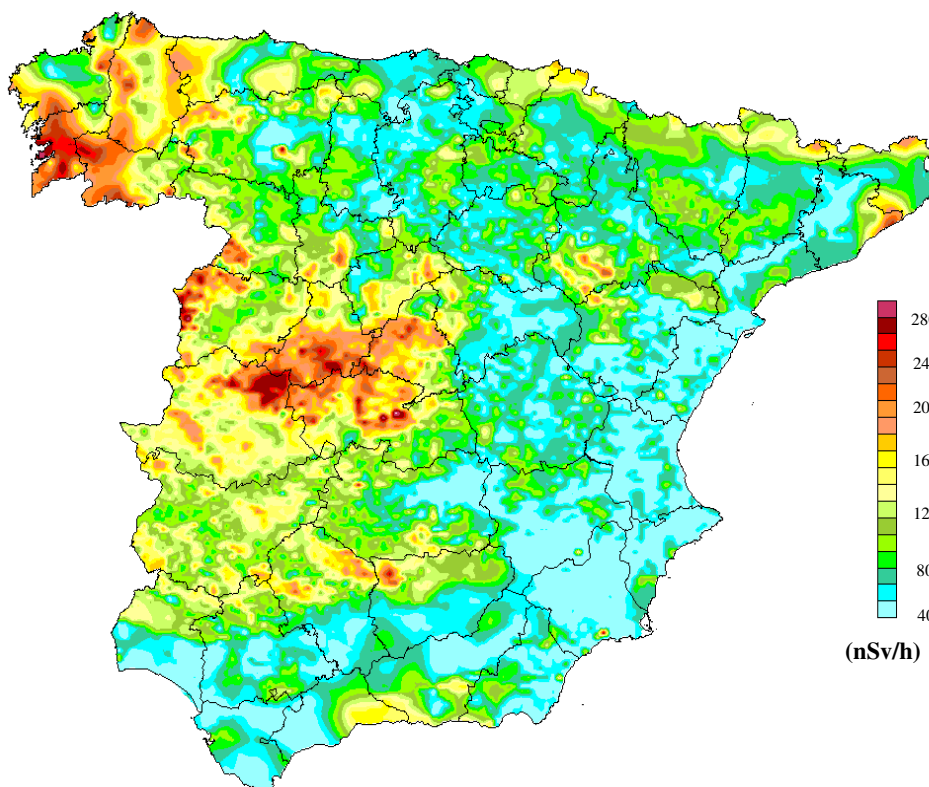


Figura 21.- Mapa de radiación gamma natural de España.

A la vista de los valores de tasa de exposición detectados en todas las zonas estudiadas en las Bardenas Reales de Navarra, se puede concluir que las mismas se adaptan razonablemente a los valores que figuran en dicho MARN (véase *Figura 22*: zona azul y verde, entre 40 y 120 nSv/h), con la singularidad de que en este caso, el número de medidas es considerablemente superior, lo que da una mayor definición a la hora de interpretar los mismos. En coherencia con lo anterior se puede expresar que no se han detectado niveles de exposición que justifiquen la presencia de fuentes de radiación que no sean las naturales de la zona.

Cabe destacar que los valores promedios encontrados resultan ser hasta 4 veces inferiores a los existentes en otras zonas de España, como las comunidades de Galicia y Salamanca, de forma natural, debido fundamentalmente a la composición del suelo.

Esto significa que para una persona que permanezca en la zona estudiada 2000 horas al año al aire libre, la dosis recibida como consecuencia de la radiación existente estaría igualmente afectada por dicho factor (4 veces inferior que otra persona que permanezca al aire libre en determinadas zonas de Galicia o Salamanca).

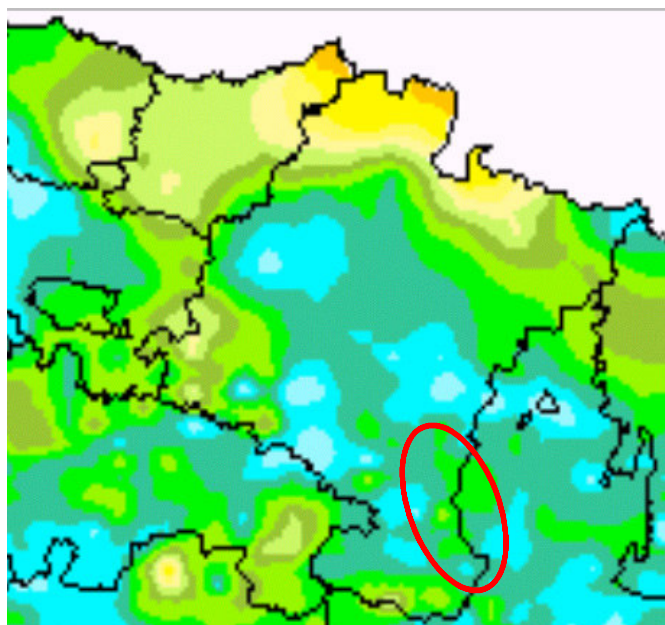


Figura 22.- Mapa de detalle del MARNA en la zona de estudio.

Tomando como valor promedio una tasa de dosis de 100 nSv/h (superior al promedio realmente obtenido de 63 nSv/h) y en el supuesto anterior de considerar 2000 horas de las 8760 que tiene un año (aproximadamente las correspondientes a la jornada laboral de todo un año) se obtendría una dosis anual de 200 μ Sv.

Este valor resulta ser 5 veces inferior al límite máximo de dosis efectiva anual establecido en 1 mSv (1000 μ Sv) por el Real Decreto 783/2001 (Reglamento sobre Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes) para los miembros del público en el entorno de instalaciones radiactivas como pueden ser una central nuclear, un centro radiológico sanitario o una de las numerosas industrias que en sus procesos manejan fuentes radiactivas.

6.- AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la colaboración a todo el personal militar de las Bardenas Reales para el desarrollo de este estudio, especialmente al Comandante Delgado, el Brigada Díez y el soldado Eduardo Blasco Pérez por las facilidades prestadas para la realización del mismo.

7.- REFERENCIAS

Al objeto de facilitar la lectura de información complementaria relativa al tema estudiado, a continuación se reflejan la fuentes de referencia básica.

En la referencia [3] se pueden encontrar múltiples artículos científicos publicados en revistas y congresos por el Grupo de Investigación de la Universidad de Cantabria.

[1] Bardenas Reales de Navarra: www.bardenasreales.es

[2] SIGPAC Navarra: sigpac.navarra.es

[3] Cátedra de Física Médica – Universidad de Cantabria: www.elradon.com

[4] Consejo de Seguridad Nuclear: www.csn.es

[5] Real Decreto 783/2001 de 6 de julio (BOE 178, 26 julio 2001): www.boe.es

Participantes en el desarrollo de este estudio:

- Luis Santiago Quindós Poncela. Doctor en Ciencias Físicas.
- Ismael Fuente Merino. Ingeniero de Telecomunicación.
- Luis Quindós López. Técnico Especialista en Salud Ambiental.
- Jose Luis Arteche García. Lcdo. Física - Meteorólogo.
- Jorge Quindós López. Técnico Superior en Análisis Químico.
- Cristóbal Calvente Torrejón. Personal Laboral.

Santander, 9 de Septiembre de 2008