Anexos

Simulaciones Ar+2% iso

a) EVENTOS INICIALES	Co60	K40	Th232	U238	Pb210	Ar39	U235	Cs137
CuCathode	2.00E+06	3.00E+06	1.00E+06	6.00E+05				
CuCathodePattern	1.00E+06	4.00E+05	2.00E+05	1.00E+05				
CuChamber	5.00E+06	4.00E+07	2.50E+06	3.50E+06				
CuChamberTop	1.00E+07	1.10E+08	1.00E+07	1.05E+07				
CuPipe	5.00E+07	7.80E+08	5.50E+07	6.50E+07				
CuRaquette	5.00E+06	1.20E+07	2.60E+06	4.00E+06				
CuReadout	1.00E+06	1.20E+07	6.00E+05	5.00E+05				
gas						1.00E+04		
kapton4Readout		1.20E+05	4.00E+04	2.50E+04				
LeadShielding		9.80E+09	1.30E+09	2.40E+09				
PTFECoverChamber		1.00E+06	1.10E+05	1.00E+06				
PTFEPipe		1.00E+08	2.50E+07	1.80E+07				
PTFECoverCathode		3.50E+06	1.00E+08	6.00E+05				
mylarCat	1.00E+04	2.00E+04	2.00E+04	1.00E+04			2.00E+03	1.50E+04
LeadInShielding					5.10E+09			

b) EVENTOS PROCESADOS	Co60	K40	Th232	U238	Pb210	Ar39	U235	Cs137
CuCathode	11,630	10,505	13,633	11,211				
CuCathodePattern	14,004	12,074	17,327	13,919				
CuChamber	19,524	10,736	9,398	10,599				
CuChamberTop	14,091	10,255	12,790	9,667				
CuPipe	10,574	11,132	10,739	8,798				
CuRaquette	10,494	10,107	9,666	18,466				
CuReadout	12,290	11,152	11,258	13,050				
gas						10,000		
kapton4Readout		11,339	10,436	10,924				
LeadShielding		10,857	10,104	10,372				
PTFECoverChamber		71,533	21,865	325,261				
PTFEPipe		11,455	10,921	10,426				
PTFECoverCathode		12,623	1,387,483	11,228				
mylarCat	10,000	11,736	93,959	71,900			13,314	9,984
LeadInShielding					144			

c) Porcentaje interacción	Co60	K40	Th232	U238	Pb210	Ar39	U235	Cs137
CuCathode	0.58%	0.35%	1.36%	1.87%				
CuCathodePattern	1.40%	3.02%	8.66%	13.92%				
CuChamber	0.39%	0.03%	0.38%	0.30%				
CuChamberTop	0.14%	0.01%	0.13%	0.09%				
CuPipe	0.02%	0.00%	0.02%	0.01%				
CuRaquette	0.21%	0.08%	0.37%	0.46%				
CuReadout	1.23%	0.09%	1.88%	2.61%				
gas						100.00%		
kapton4Readout		9.45%	26.09%	43.70%				
LeadShielding		0.00%	0.00%	0.00%				
PTFECoverChamber		7.15%	19.88%	32.53%				
PTFEPipe		0.01%	0.04%	0.06%				
PTFECoverCathode		0.36%	1.39%	1.87%				
mylarCat	100.00%	58.68%	469.80%	719.00%			665.70%	66.56%
LeadInShielding					0.00%			

Figura 1: Estadísticas de las simulaciones con Ar+2 % iso, mostrando a) el número de eventos iniciales lanzados, b) el número de eventos procesados, es decir, aquellos que han producido interacciones con el gas de la cámara y c) el porcentaje de eventos que han producido señal en el detector.

Análisis Ar+2% iso

a) EVENTOS ENVIADOS	Co60	K40	Th232	U238	Pb210	Ar39	U235	Cs137
CuCathode	Todos	Todos	Todos	Todos				
CuCathodePattern	Todos	Todos	Todos	Todos				
CuChamber	Todos	Todos	Todos	Todos				
CuChamberTop	Todos	Todos	Todos	Todos				
CuPipe	Todos	Todos	Todos	Todos				
CuRaquette	Todos	Todos	Todos	Todos				
CuReadout	Todos	Todos	Todos	Todos				
gas						Todos		
kapton4Readout		Todos	Todos	Todos				
LeadShielding		Todos	Todos	Todos				
PTFECoverChamber		10,000	10,000	10,000				
PTFEPipe		Todos	Todos	Todos				
PTFECoverCathode		Todos	10,000	Todos				
mylarCat	10,000	Todos	10,000	10,000			10,000	Todos
LeadInShielding					Todos			

b) EVENTOS PROCESADOS	Co60	K40	Th232	U238	Pb210	Ar39	U235	Cs137
CuCathode	7,889	7,031	9,070	7,365				
CuCathodePattern	13,275	12,035	17,109	13,822				
CuChamber	12,253	6,697	5,653	6,557				
CuChamberTop	9,386	6,810	8,380	6,329				
CuPipe	7,401	7,790	7,523	6,100				
CuRaquette	7,037	7,003	6,537	12,467				
CuReadout	10,424	9,509	9,615	11,506				
gas						6,718		
kapton4Readout		8,016	7,113	7,610				
LeadShielding		6,808	5,853	85				
PTFECoverChamber		10,000	10,000	10,000				
PTFEPipe		11,287	10,231	10,076				
PTFECoverCathode		12,491	10,000	10,890				
mylarCat	10,000	11,721	9,986	9,989			9,839	9,957
LeadInShielding					85			

c) EVENTOS QUE SUPERAN LOS CORTES

	Co60			K40			Th232			U238			Pb210			Ar39			U235			Cs137		
	Cuentas	Error		Cuentas	Error		Cuentas	Error		Cuentas	Error		Cuentas	Error		Cuentas	Error		Cuentas	Error		Cuentas	Error	
	c	√c	rel	c	√c	rel	c	√c	rel	c	√c	rel	c	√c	rel	c	√c	rel	c	√c	rel	c	√c	rel
CuCathode	9	3.0	0.33	2	1.4	0.71	9	3.0	0.33	6	2.4	0.41												
CuCathodePattern	77	8.8	0.11	38	6.2	0.16	132	11.5	0.09	75	8.7	0.12												
CuChamber	25	5.0	0.20	12	3.5	0.29	17	4.1	0.24	24	4.9	0.20												
CuChamberTop	17	4.1	0.24	11	3.3	0.30	25	5.0	0.20	21	4.6	0.22												
CuPipe	27	5.2	0.19	29	5.4	0.19	36	6.0	0.17	31	5.6	0.18												
CuRaquette	8	2.8	0.35	4	2.0	0.50	10	3.2	0.32	20	4.5	0.22												
CuReadout	7	2.6	0.38	30	5.5	0.18	41	6.4	0.16	28	5.3	0.19												
gas																18	4.2	0.2						
kapton4Readout				4	2.0	0.50	6	2.4	0.41	5	2.2	0.45												
LeadShielding				30	5.5	0.18	41	6.4	0.16	28	5.3	0.19												
PTFECoverChamber				4	2.0	0.50	14	3.7	0.27	11	3.3	0.30												
PTFEPipe				44	6.6	0.15	121	11.0	0.09	68	8.2	0.12												
PTFECoverCathode				48	6.9	0.14	149	12.2	0.08	101	10.0	0.10												
mylarCat	2,539	50.4	0.02	51	7.1	0.14	194	13.9	0.07	124	11.1	0.09							258	16.1	0.1	139	11.8	0.1
LeadInShielding													1 (4)	2.0	0.5									

Figura 2: Estadísticas de los análisis con Ar+2 % iso, mostrando a) el número de eventos que han producido interacciones en el gas que se han analizado, b) el número de eventos resultantes y c) el número de eventos que han superado los cortes. En este último se indican en rojo aquellos en los que el número de cuentas es <10, siendo estos a los que se les ha aplicado la corrección estadística que se muestra entre paréntesis y que es el límite superior con un 95 % de confianza. Se indican los errores estadísticos $\sqrt{c}$ y los errores relativos para ilustrar que en general son muy altos ya que hemos obtenido estadísticas insuficientes.

Simulaciones Xe+1% iso

a) EVENTOS INICIALES	Co60	K40	Th232	U238	Pb210	Kr85	U235	Cs137
CuCathode	2.00E+06	3.00E+06	1.00E+06	6.00E+05				
CuCathodePattern	1.00E+06	4.00E+05	2.00E+05	1.00E+05				
CuChamber	5.00E+06	4.00E+07	2.50E+06	3.50E+06				
CuChamberTop	1.00E+07	1.10E+08	1.00E+07	1.05E+07				
CuPipe	5.00E+07	6.00E+08	1.00E+07	1.00E+07				
CuRaquette	5.50E+06	1.20E+07	3.00E+06	3.00E+06				
CuReadout	1.00E+06	1.20E+07	6.00E+05	5.00E+05				
gas						1.00E+04		
kapton4Readout		1.20E+05	4.00E+04	2.50E+04				
LeadShielding		1.00E+09	1.00E+09	1.00E+06				
PTFECoverChamber		1.00E+06	1.00E+05	1.00E+05				
PTFEPipe		1.00E+08	2.50E+07	1.80E+07				
PTFECoverCathode		3.50E+06	1.00E+06	6.00E+05				
mylarCat	1.00E+04	2.00E+04	2.50E+03	2.00E+03			2.00E+03	1.50E+04
LeadInShielding					8.10E+09			

b) EVENTOS PROCESADOS	Co60	K40	Th232	U238	Pb210	Kr85	U235	Cs137
CuCathode	13,608	10,677	16,320	11,869				
CuCathodePattern	15,368	12,200	19,120	14,202				
CuChamber	22,585	12,712	130,050	141,790				
CuChamberTop	17,025	12,151	16,934	12,371				
CuPipe	13,268	10,496	17,729	12,721				
CuRaquette	12,501	10,523	13,283	15,323				
CuReadout	13,344	14,856	16,993	15,999				
gas						10,000		
kapton4Readout		11,431	10,903	11,103				
LeadShielding		5480	5783	5175				
PTFECoverChamber		72514	23471	34944				
PTFEPipe		11642	14382	12095				
PTFECoverCathode		13060	18313	13198				
mylarCat	10,000	11659	11744	14389			13,492	10,059
LeadInShielding					199			

c) Porcentaje interacción	Co60	K40	Th232	U238	Pb210	Kr85	U235	Cs137
CuCathode	0.68%	0.36%	1.63%	1.98%				
CuCathodePattern	1.54%	3.05%	9.56%	14.20%				
CuChamber	0.45%	0.03%	5.20%	4.05%				
CuChamberTop	0.17%	0.01%	0.17%	0.12%				
CuPipe	0.03%	0.00%	0.18%	0.13%				
CuRaquette	0.23%	0.09%	0.44%	0.51%				
CuReadout	1.33%	0.12%	2.83%	3.20%				
gas						100.00%		
kapton4Readout		9.53%	27.26%	44.41%				
LeadShielding		0.00%	0.00%	0.52%				
PTFECoverChamber		7.25%	23.47%	34.94%				
PTFEPipe		0.01%	0.06%	0.07%				
PTFECoverCathode		0.37%	1.83%	2.20%				
mylarCat	100.00%	58.30%	469.76%	719.45%			674.60%	67.06%
LeadInShielding					0.00%			

Figura 3: Estadísticas de las simulaciones con Xe+1 % iso, mostrando a) el número de eventos iniciales lanzados, b) el número de eventos procesados, es decir, aquellos que han producido interacciones con el gas de la cámara y c) el porcentaje de eventos que han producido señal en el detector.

Análisis Xe+1% iso

a) EVENTOS ENVIADOS	Co60	K40	Th232	U238	Pb210	Kr85	U235	Cs137
CuCathode	Todos	Todos	1,000	Todos				
CuCathodePattern	Todos	Todos	1,000	1,000				
CuChamber	Todos	Todos	10,000	10,000				
CuChamberTop	Todos	Todos	Todos	Todos				
CuPipe	Todos	Todos	Todos	Todos				
CuRaquette	Todos	Todos	Todos	Todos				
CuReadout	Todos	Todos	Todos	Todos				
gas						Todos		
kapton4Readout		3,000	3,000	3,000				
LeadShielding		Todos	Todos	Todos				
PTFECoverChamber		Todos	Todos	Todos				
PTFEPipe		Todos	Todos	Todos				
PTFECoverCathode		Todos	Todos	Todos				
mylarCat	10,000	5,000	200	100			100	5,000
LeadInShielding					Todos			

b) EVENTOS PROCESADOS	Co60	K40	Th232	U238	Pb210	Kr85	U235	Cs137
CuCathode	9,200	7,136	628	7,815				
CuCathodePattern	14,292	12,143	972	984				
CuChamber	13,580	7,597	10,000	10,000				
CuChamberTop	11,227	7,908	11,130	8,104				
CuPipe	9,114	7,211	12,285	8,749				
CuRaquette	8,221	7,366	8,841	10,360				
CuReadout	11,178	12,276	13,881	13,695				
gas						6,587		
kapton4Readout		2,076	2,071	2,060				
LeadShielding		3,544	3,395	3,289				
PTFECoverChamber		41,529	11,797	18,352				
PTFEPipe		11,401	13,406	11,598				
PTFECoverCathode		12,890	17,035	12,641				
mylarCat	9,999	4,995	198	99			97	4,981
LeadInShielding					126			

c) EVENTOS QUE SUPERAN LOS CORTES

	Co60			K40			Th232			U238			Pb210			U235			Cs137		
	Cuentas	Error		Cuentas	Error		Cuentas	Error		Cuentas	Error		Cuentas	Error		Cuentas	Error		Cuentas	Error	
	c	√c	rel	c	√c	rel	c	√c	rel	c	√c	rel	c	√c	rel	c	√c	rel	c	√c	rel
CuCathode	26	5.1	0.20	2	1.4	0.71	1	1.0	1.00	14	3.7	0.27									
CuCathodePattern	246	15.7	0.06	155	12.4	0.08	17	4.1	0.24	13	3.6	0.28									
CuChamber	36	6.0	0.17	29	5.4	0.19	25	5.0	0.20	48	6.9	0.14									
CuChamberTop	48	6.9	0.14	21	4.6	0.22	65	8.1	0.12	58	7.6	0.13									
CuPipe	62	7.9	0.13	20	4.5	0.22	84	9.2	0.11	80	8.9	0.11									
CuRaquette	22	4.7	0.21	4	2.0	0.50	25	5.0	0.20	27	5.2	0.19									
CuReadout	37	6.1	0.16	91	9.5	0.10	139	11.8	0.08	63	7.9	0.13									
gas																					
kapton4Readout				6	2.4	0.41	2	1.4	0.71	4	2.0	0.50									
LeadShielding				10	3.2	0.32	5	2.2	0.45	8	2.8	0.35									
PTFECoverChamber				14	3.7	0.27	13	3.6	0.28	21	4.6	0.22									
PTFEPipe				196	14.0	0.07	398	19.9	0.05	291	17.1	0.06									
PTFECoverCathode				176	13.3	0.08	351	18.7	0.05	308	17.5	0.06									
mylarCat	3,408	58.4	0.02	99	9.9	0.10	9	3.0	0.33	21	4.6	0.22				6	2	0.4	302	17.4	0.06
LeadInShielding													0 (3)	1.7	0.6						

Figura 4: Estadísticas de los análisis con Xe+1 % iso, mostrando a) el número de eventos que han producido interacciones en el gas que se han analizado, b) el número de eventos resultantes y c) el número de eventos que han superado los cortes. En este último se indican en rojo aquellos en los que el número de cuentas es <10, siendo estos a los que se les ha aplicado la corrección estadística que se muestra entre paréntesis y que es el límite superior con un 95 % de confianza. Se indican los errores estadísticos $\sqrt{c}$ y los errores relativos para ilustrar que en general son muy altos ya que hemos obtenido estadísticas insuficientes.

#	Material,Supplier	Method	Unit	^{238}U	^{226}Ra	^{232}Th	^{228}Th	^{235}U	^{40}K	^{60}Co	^{137}Cs
1	Pb, Mifer	GDMS	mBq/kg	0.33		0.10			1.2		
2	OFE Cu, Luvata	GDMS	mBq/kg	<0.012		<0.0041			0.061		
3	ETP Cu, Sanmetal	GDMS	mBq/kg	<0.062		<0.020					
4	ETP Cu, Sanmetal	Ge Oroel	mBq/kg	<27	<1.0	<1.1	<0.76	<0.56	<3.1	0.24±0.05	<0.29
5	PFA tube, Entecnik	Ge Paquito	mBq/m	<31	<0.58	<0.53	<0.34	<0.29	<2.6	<0.16	<0.18
6	PTFE tube, Tecnyfluor	Ge Paquito	mBq/m	<19	<0.48	<0.54	<0.41	<0.26	<2.5	<0.14	<0.17
7	Kapton-Cu PCB, LabCircuits	Ge Paquito	μBq/cm^2	<42	<1.3	<1.1	<0.66	<0.41	<4.0	<0.24	<0.28
8	Epoxy Hysol, Henkel	Ge Paquito	mBq/kg	<273	<16	<20	<16		<83	<4.2	<4.5
9	SM5D resistor, Finechem	Ge Paquito	mBq/pc	0.4±0.2	0.022±0.007	<0.023	<0.016	0.012±0.005	0.17±0.07	<0.005	<0.005
10	Mylar, Goodfellow	Ge Paquito	μBq/cm^2	<29	<0.59	<0.80	<0.36	<0.29	<3.3	<0.18	<0.21
11	Nylon (3D printer), CNM	Ge Latuca	mBq/kg	<436	<9.2	<11	<3.4	<2.6	<29	<1.0	<1.2
12	Nylon (3D printer), CNM	ICPMS	mBq/kg	36		2.9					
13	Teflon, Sanmetal	ICPMS	mBq/kg	<0.062		<0.041					
14	Extruded PTFE, Gore	ICPMS	mBq/kg	<0.124		<0.041					
15	Gold connectors, Fujipoly	Ge Paquito	mBq/pc	<25	4.45±0.65	1.15±0.35	0.80±0.19		7.3±2.6	<0.1	<0.4
16	Silver connectors, Fujipoly	Ge Paquito	mBq/pc	<55	5.68±0.81	6.1±1.1	6.17±0.72		12.2±3.8	<0.3	<0.3
17	Carbon connectors, Fujipoly	Ge Paquito	mBq/pc	14.5±6.0	2.77±0.38	1.17±0.23	1.14±0.14		7.5±2.3	<0.1	<0.1
18	Final Gold connectors, Fujipoly	Ge Paquito	mBq/pc	<12	2.80±0.38	0.49±0.10	0.58±0.09		5.3±1.6	<0.08	<0.07
19	Flat cable, Somacis	Ge Paquito	mBq/pc	<14	0.44±0.12	<0.33	<0.19	<0.19	1.8±0.7	<0.09	<0.10
20	Teflon cable, Druflon	Ge Paquito	mBq/kg	<104	<2.2	<3.7	< 1.7	<1.4	21.6±7.4	<0.7	<0.8
21	Coaxial cable, Axon	Ge Paquito	mBq/kg	<650	<24	<15	<9.9	<7.9	163±55	<4.3	<5.1
22	Electronic board, CEA	Ge Paquito	Bq/kg	94±38	41.4±5.6	59±10	53.6±7.4		19.5±6.1	<0.67	<1.1
23	AGET chips, CEA	Ge Paquito	mBq/pc	<8.7	0.48±0.07	0.16±0.06	0.47±0.09		0.83±0.29	<0.04	<0.04
24	Ceramic AGET chips, CEA	Ge Paquito	mBq/unit	(0.64±0.24)10^3	539±94	116±20	113±21		43±14	<2.2	
25	Classical micromegas, CAST	Ge Paquito	μBq/cm^2	<40		4.6±1.6		<6.2	<46	<3.1	
26	Microbulk MM, CAST	Ge Paquito	μBq/cm^2	26±14		<9.3		<14	57±25	<3.1	
27	Kapton-Cu foil, CERN	Ge Paquito	μBq/cm^2	<11		<4.6		<3.1	<7.7	<1.6	
28	Cu-kapton-Cu foil, CERN	Ge Paquito	μBq/cm^2	<11		<4.6		<3.1	<7.7	<1.6	
29	Microbulk MM, CERN	Ge Latuca	μBq/cm^2	<49	<0.70	<1.2	<0.35	<0.22	<2.3	<0.14	<0.13
30	Micromegas (GEM), CERN	Ge Oroel	μBq/cm^2	<5.2	<0.10	<0.22	<0.08	<0.03	3.45±0.40	<0.02	<0.02
31	Pyralux, Saclay	Ge Paquito	μBq/cm^2	<19	<0.61	<0.63	<0.72	<0.19	4.6±1.9	<0.10	<0.14
32	Isotac adhesive, 3M	Ge Paquito	μBq/cm^2	<18	<0.45	<0.43	<0.22	<0.18	<2.3	<0.10	<0.14
33	Stainless steel mesh	Ge Paquito	μBq/cm^2	<53	<1.5	<1.7	<0.9	<0.6	<8.7	<0.3	<0.5
34	Micromegas, CNM	Ge Paquito	μBq/cm^2	<462	<10	<11	<6.3	<4.5	<61	<3.8	<3.7
#	Material,Supplier	Method	Unit	^{214}Bi	^{208}Tl						
35	Microbulk MM, CAST	BiPo-3	μBq/cm^2	<0.134	<0.035						
36	Cu-kapton-Cu foil, CERN	BiPo-3	μBq/cm^2	<0.141	<0.012						
37	Microbulk MM, CERN	BiPo-3	μBq/cm^2	<0.045	<0.014						
38	Kapton-epoxy foil, CERN	BiPo-3	μBq/cm^2	<0.033	<0.008						
39	Pyralux foil, Saclay	BiPo-3	μBq/cm^2	<0.032	<0.013						

Figura 5: Medidas de radiopureza realizadas en el LSC [1]

.

	$1-\alpha$ =90%		$1-\alpha$ =95%	
n	μ_1	μ_2	μ_1	μ_2
0	0.00	2.44	0.00	3.09
1	0.11	4.36	0.05	5.14
2	0.53	5.91	0.36	6.72
3	1.10	7.42	0.82	8.25
4	1.47	8.60	1.37	9.76
5	1.84	9.99	1.84	11.26
6	2.21	11.47	2.21	12.75
7	3.56	12.53	2.58	13.81
8	3.96	13.99	2.94	15.29
9	4.36	15.30	4.36	16.77
10	5.50	16.50	4.75	17.82

Figura 6: Intervalos de confianza $[\mu_1, \mu_2]$ para la media de una variable de Poisson dados n eventos observados en ausencia de fondo, para un nivel de confianza del 90 % y 95 % [2].

Referencias

[1] F. J. Iguaz, J. Gracia-Garza, et al. TREX-DM: a low-background Micromegas-based TPC for low-mass WIMP detection. *The European Physical Journal*, 76(10), sep 2016.

[2] M. Tanabashi, K. Hagiwara, et al. Review of particle physics. *Physical Review D*, 98(3), aug 2018.