



**DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRAZADOR
RADIOACTIVO CONSISTENTE EN DOS
DETECTORES DE RAYOS GAMMA Y UN CCL
PARA LA EMPRESA HYDROCARBON SERVICES
LTDA.**

Angela Mercedes Caupaz Martínez

**Director:
Ing. Germán Martínez**

**Asesor:
Ing. Héctor Valderrama**

PROYECTO DE PASANTIA

**Universidad Surcolombiana
Programa de Ingeniería Electrónica
2007**



Introducción

El objetivo primordial del proyecto es ofrecer una solución clara ante la demanda de operaciones realizadas con el Trazador Radiactivo en la empresa Hydrocarbon Services Ltda., generando facilidades, no solo económicas sino también operacionales, permitiendo una relación más directa entre los operarios y la herramienta de manera tal que se disminuyan al máximo inconvenientes que se presentan en diversas ocasiones por desconocimiento de los sistemas y manejo de los mismos.

Concepto Trazador Radioactivo

Un trazador radioactivo es una herramienta utilizada en la industria de los hidrocarburos para determinar condiciones de operación y funcionamiento de pozos inyectoros. Sus etapas en conjunto proporcionan información fundamental dentro de los procesos para la obtención de los perfiles de inyección en pozos de hidrocarburos, tal como datos de caudales, ubicación en profundidad, localización de daños en el revestimiento y en la tubería del pozo y detección de fuentes radioactivas.

Etapas

El CCL (*Casing Collar Locator*) es un sistema que responde a cambios en el volumen de metal. A medida que la herramienta pasa por un collar, o cambia el volumen, las líneas de flujo magnético entre los imanes permanentes opuestos sufren una distorsión. Esto causa un V de baja frecuencia que es inducido en un embobinado montado entre los imanes permanentes.

CCL

EYECTOR

DETECTOR

+

DETECTOR

-



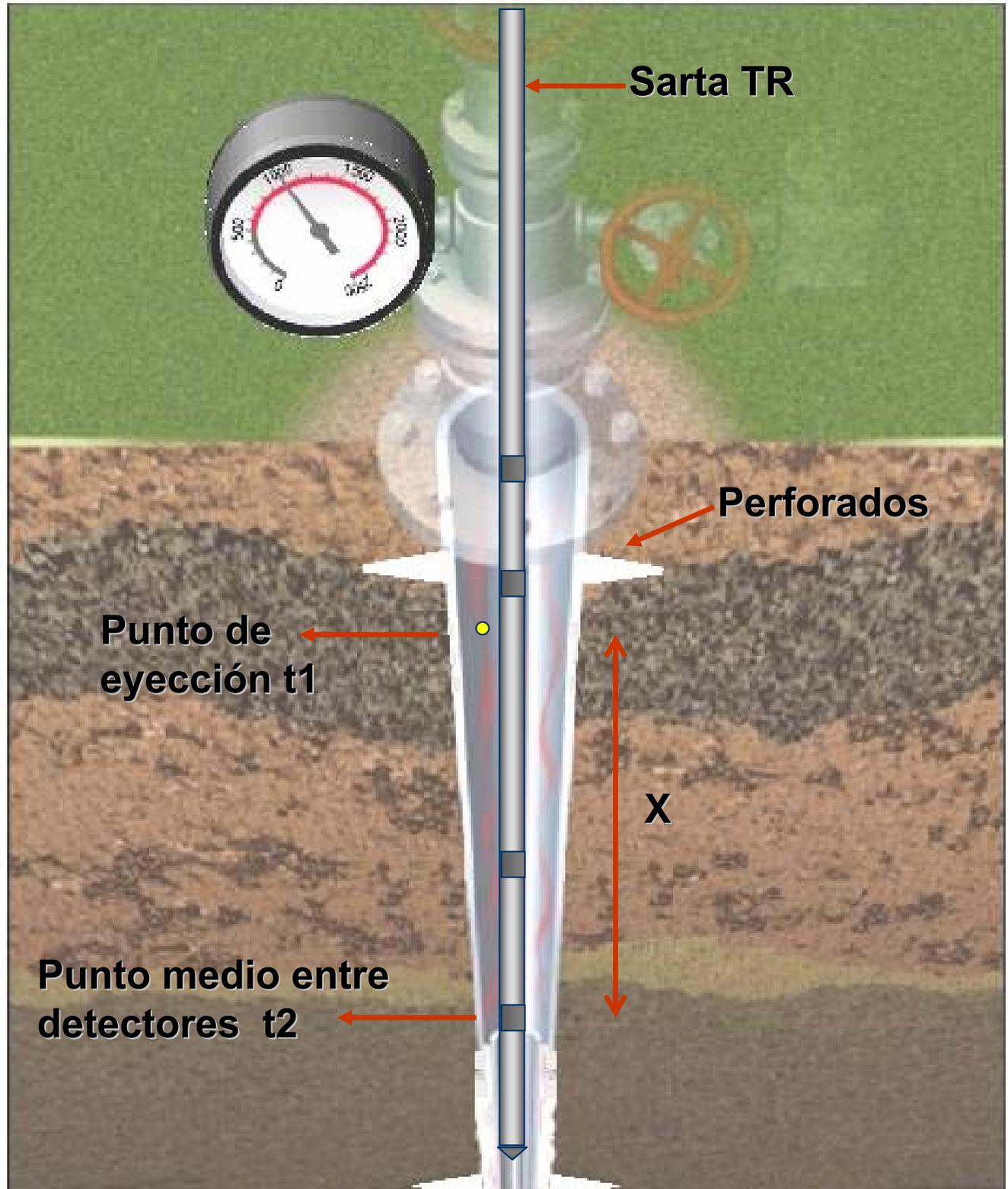
Etapas

El eyector consiste de un motor en cuyo eje se ha posicionado un pistón que actúa sobre una cavidad que permite el almacenamiento del Yodo131. Al terminar el llenado de dicha cavidad, y mediante cambios de V controlados desde el panel de adquisición en superficie, se invierte su giro para realizar las eyecciones necesarias durante el registro.

Contiene dos detectores de rayos gamma: uno positivo y otro negativo, que permiten obtener datos acerca del paso del material radioactivo en dos puntos diferentes.

Desarrollo de la operación

Se eyecta una cantidad (aprox. 0,5 cc.) de I131, el que ingresa a la corriente del fluido de inyección y es arrastrado alcanzando rápidamente su velocidad. Esta nube radiactiva es detectada a su paso frente al detector D1 y al detector D2, indicando el tiempo empleado por la nube para recorrer la distancia entre detectores. Esta operación se realiza en pozos inyectoros, y el fluido diluido en el agua de inyección, es introducido en la formación, para emerger posteriormente en los pozos productores.



$$V = X / (t2-t1)$$

$$Q = A * V$$

El área se determina a partir del diámetro externo de la sarta y el diámetro interno de la cañería.

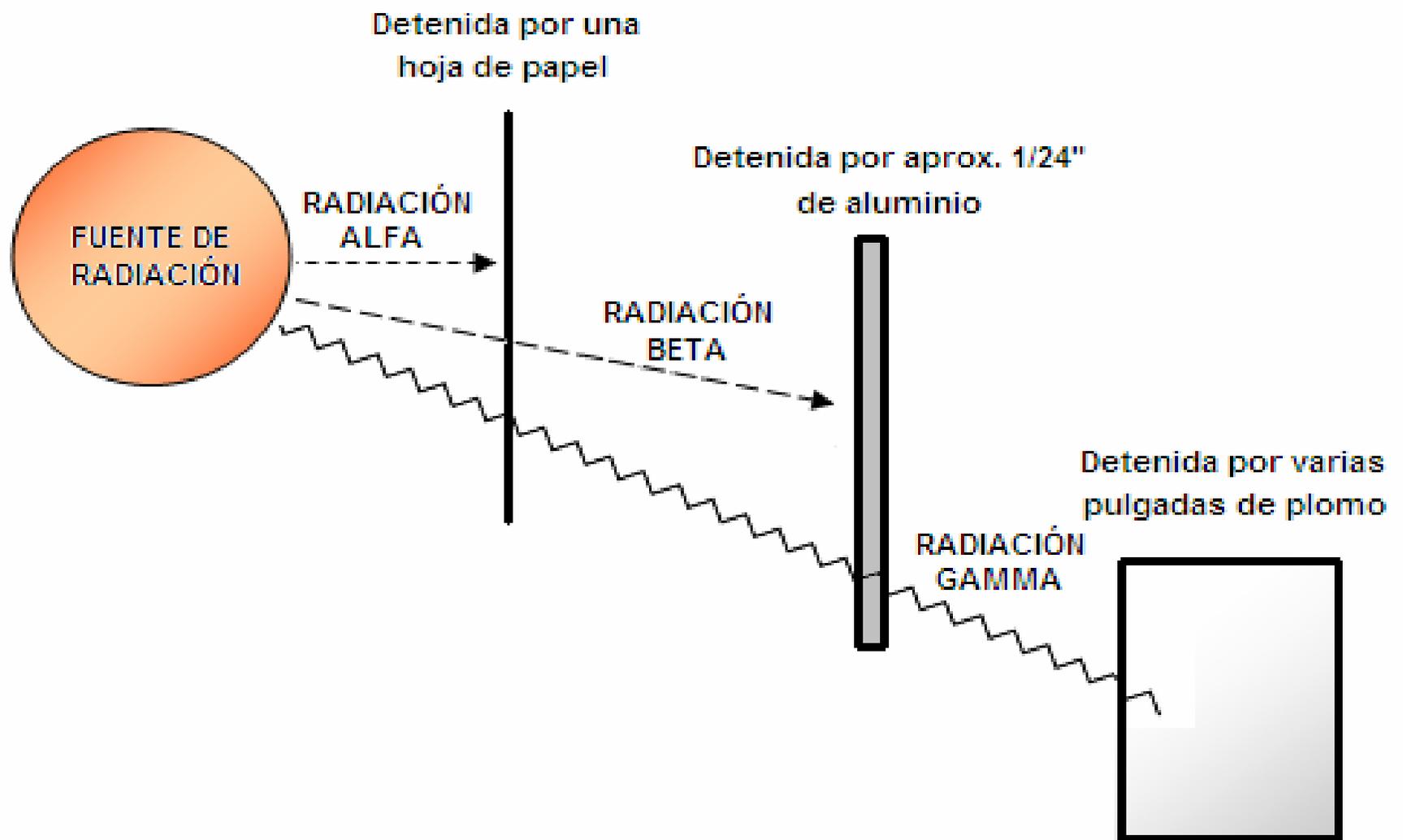
Material Radioactivo

Es todo aquel que, natural o artificialmente, es capaz de emitir o "radiar" energía en forma de partículas (Alfa, Beta, Neutrones) o radiación Electromagnética (Rayos Gamma o X).

Los Rayos Gamma son una radiación similar a la luz, pero con longitud de onda considerablemente más corta, originada en el núcleo de átomos inestables que contienen un exceso de energía. Por su corta longitud de onda es un tipo de radiación muy penetrante, y requiere de un material muy denso para detenerla (Plomo, Concreto).

Rayos Gamma

Son una radiación similar a la luz excepto que la longitud de onda de los rayos es considerablemente más corta ($\lambda < 10\text{pm}$) que la longitud de onda de la luz ($\lambda < 780\text{nm}$). Su poder de penetración es aproximadamente cien veces mayor que el de las partículas beta y diez mil veces mayor que el de las partículas alfa. Destruyen el tejido de la piel y dañan los órganos internos del cuerpo, siendo un peligro de radiación para todo el cuerpo



Unidades

La **Actividad** se define como el número de desintegraciones por unidad de tiempo. La unidad de la actividad es el Bequerelio (Bq)

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ desintegración / segundo}$$

La unidad antigua es el Curio (Ci)

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

Unidades

La **Dosis Absorbida** es la magnitud dosimétrica fundamental de uso en protección radiológica definida por la expresión

$$D = de / dm \text{ unidad (J/kg) (Gy)}$$

de : energía media impartida por la radiación ionizante a la materia en un volumen dado

dm : es la masa existente en ese volumen.

La unidad es el Gray (Gy)

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ Joule/kg.}$$

La unidad anterior fue el rad

$$1 \text{ rad} = 10^{-2} \text{ Gy}$$

Unidades

En protección radiológica lo que más interesa es la dosis absorbida en todo un sistema celular gran componente de los órganos o tejidos y específicamente en un punto determinado, ponderada con respecto a la calidad de la radiación. El factor de ponderación utilizado para este fin se conoce como **factor de ponderación de la radiación W_r** y se selecciona en función del tipo y energía de la radiación incidente sobre el cuerpo, y a esta dosis absorbida ponderada se denomina **dosis equivalente** en un tejido u órgano.

Unidades

$$H_{TR} = W_R D_{TR} \quad \text{Unidad (J/kg) (Sv)}$$

D_{TR} es la dosis absorbida promediada sobre un tejido u órgano T debido a la radiación R

La unidad es el Sievert (Sv)

$$1 \text{ Sv} = 1 \text{ Joule/kg.}$$

La unidad antigua es el rem

$$1 \text{ rem} = 10^{-2} \text{ Sv}$$

TÉCNICAS UTILIZADAS EN EL SECTOR HIDROCARBUROS

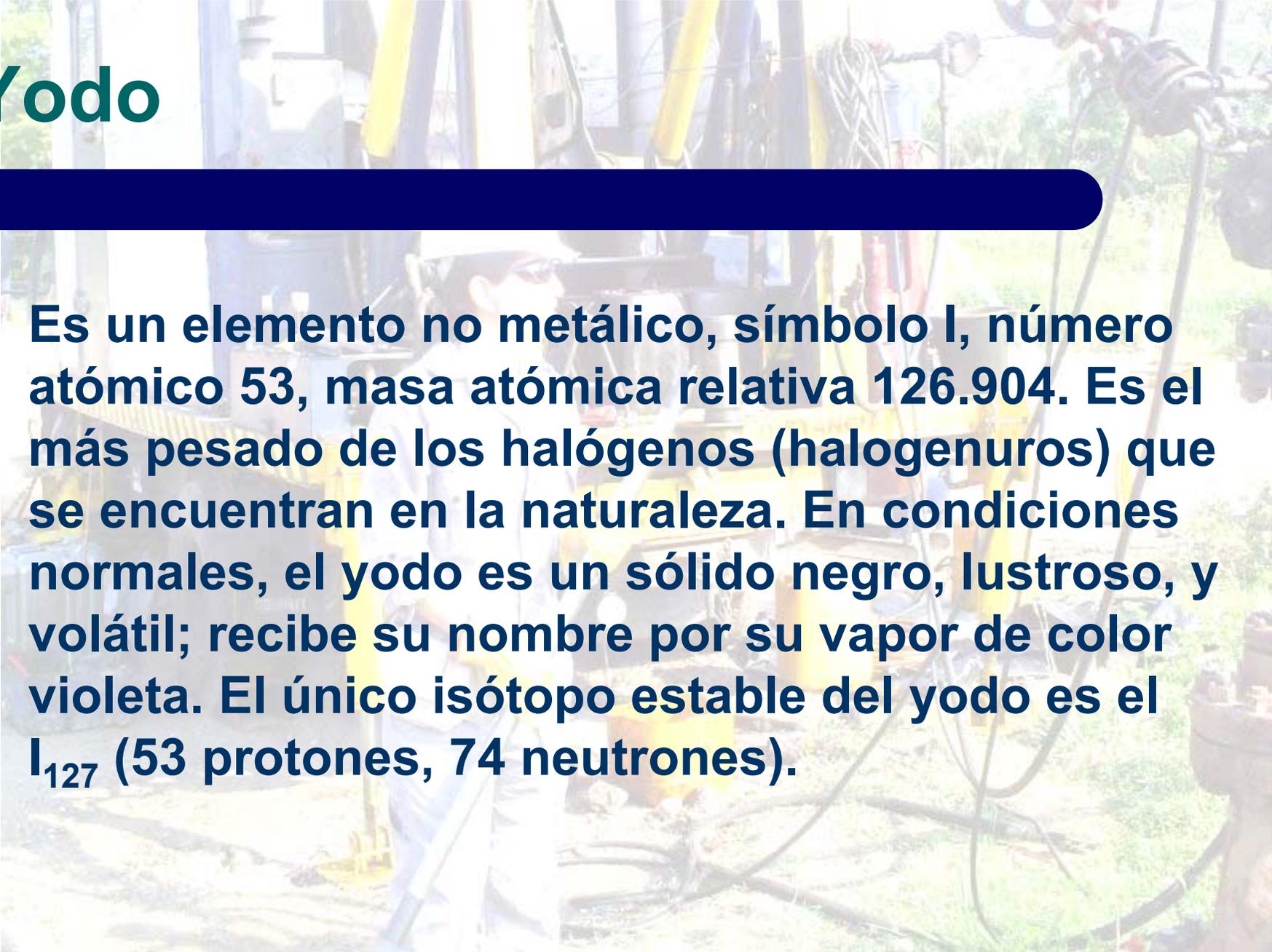
Para el perfilaje de pozos petrolíferos con métodos radiactivos, básicamente se utilizan tres técnicas:

1- Técnicas Pasivas - El perfil de Rayos Gamma mide la radiactividad natural emitida por elementos presentes en la formación (Torio, Uranio y Potasio).

2- Técnicas Activas NO Invasivas - Utilizan fuentes radiactivas que excitan la formación y miden su respuesta. Se utilizan fuentes de Rayos Gamma (Cesio137 o Radio226) o fuentes de Neutrones (Americio241- Berilio). La radiación está presente en el pozo sólo durante la medición.

3- Técnicas Activas Invasivas – Se inyecta en el pozo un fluido radiactivo, Yodo₁₃₁ (I^{131}) (***Trazador Radiactivo***).

Yodo



Es un elemento no metálico, símbolo I, número atómico 53, masa atómica relativa 126.904. Es el más pesado de los halógenos (halogenuros) que se encuentran en la naturaleza. En condiciones normales, el yodo es un sólido negro, lustroso, y volátil; recibe su nombre por su vapor de color violeta. El único isótopo estable del yodo es el I_{127} (53 protones, 74 neutrones).

Yodo₁₃₁ (I¹³¹)

El fluido radiactivo utilizado más comúnmente de los 22 isótopos artificiales (masas entre 117 y 139), es el I¹³¹, un radioisótopo activado artificialmente con una vida media de 8.05 días y en dosis con una actividad de 15 a 60 mCi; se utiliza mucho en el trabajo con ***trazadores radioactivos*** y ciertos procedimientos de radioterapia.

Esta fuente tiene un período de semieliminación biológica (T_b) de 138 días.

Efectos sobre la salud

Los riesgos especiales a los que un ser humano está expuesto pueden clasificarse en dos tipos: por un lado la **Irradiación** y por otro la **Contaminación** (que puede ser interna o externa).

Efectos rápidos

Estos efectos se observan poco tiempo después de recibir una dosis alta en un periodo corto de tiempo. Es improbable que se reciba una dosis suficientemente alta como para producir efectos rápidos, excepto en el caso de un accidente. En dichos accidentes. Efecto: lesiones (quemaduras) debidas a la radiación.

Efectos Retardados (Cáncer)

No está bien entendido cómo la radiación produce cáncer, lo que se sabe es que en grupos de gente con alta exposición, se observa una incidencia más alta que lo normal al cáncer. Sin embargo, el solo hecho de que una persona sea expuesta a radiación no significa que seguramente vaya a desarrollar cáncer.

Efectos Genéticos

Pueden ocurrir cuando se producen daños radioactivos al material genético. Estos efectos pueden manifestarse como defectos de nacimiento, u otras condiciones en las generaciones futuras del individuo expuesto. Sin embargo, en las poblaciones humanas expuestas a radiación no se ha observado un exceso de defectos genéticos claramente causados por la radiación. Por lo tanto, existe la posibilidad de que los efectos genéticos en los seres humanos puedan ser causados por dosis bajas, aún cuando todavía no existe evidencia directa de esto.

Efectos Teratogenéticos

Estos tipos de efectos difieren de los efectos genéticos en que éstos son efectos que se producen por la exposición del feto y/o embrión de un bebé en el útero. La predicción de que un bebé por nacer sería más sensible a la radiación que un adulto está respaldada por observaciones en casos de dosis relativamente altas.

Dosis máximas permisibles

REMS	DAÑO
25	Ninguno
50 A 100	Daño en la sangre
200	Enfermedad (10% fatal)
400	Muerte (50%)

Daño presentado en el organismo ante diferentes dosis diarias de radiación

Dosis anuales

Irradiación uniforme en todo el cuerpo, en particular gónadas y órganos hematopoyéticos:
100 mSv / 5 años (10 rem / 5 años) con un máximo de 50 mSv en un año

Irradiación de cristalinos:

150 mSv / año (15 rem / año)

Irradiación de cualquier otro sector del organismo, en especial manos y pies:

500 mSv / año (50 rem / año)

Técnicas de prevención

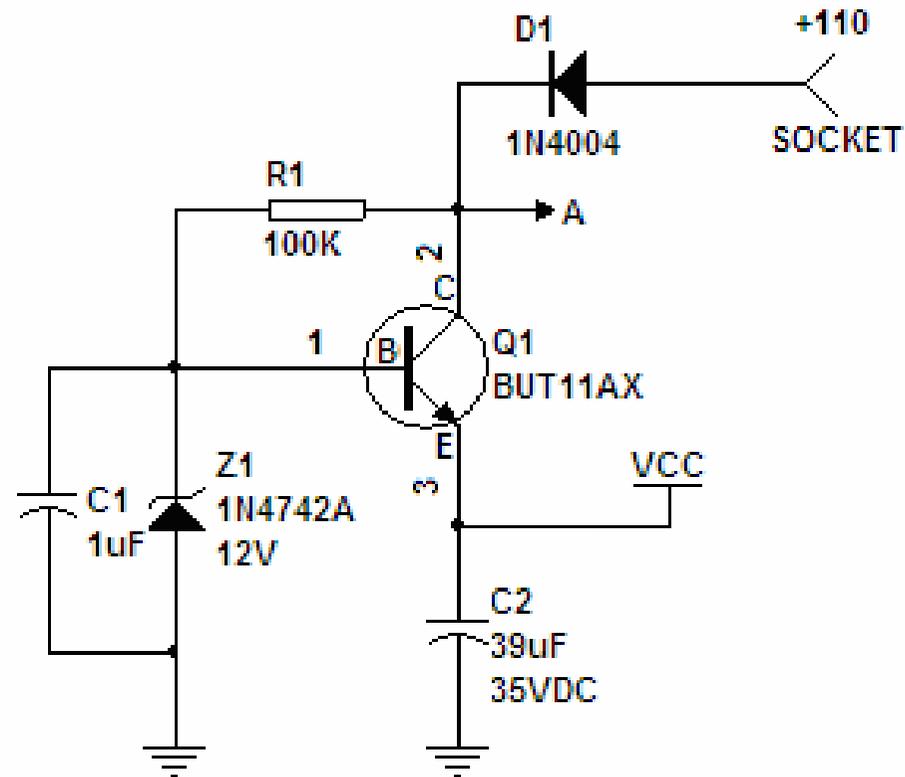
La dosis de radiación puede controlarse mediante:

FACTOR TIEMPO Y DOSIS TOTAL
DISTANCIA DE TRABAJO
BLINDAJE



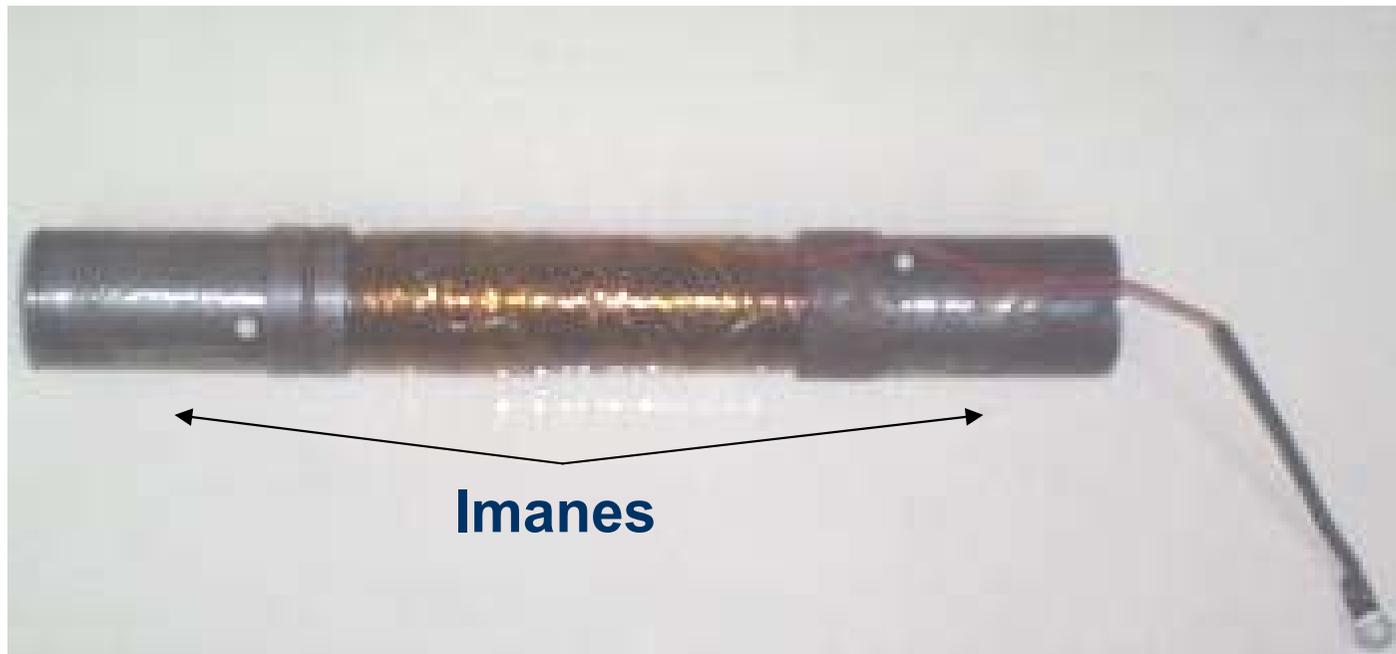
DISEÑO DE LA ETAPA DEL CCL

Diseño del sistema CCL (Casing Collar Locator)



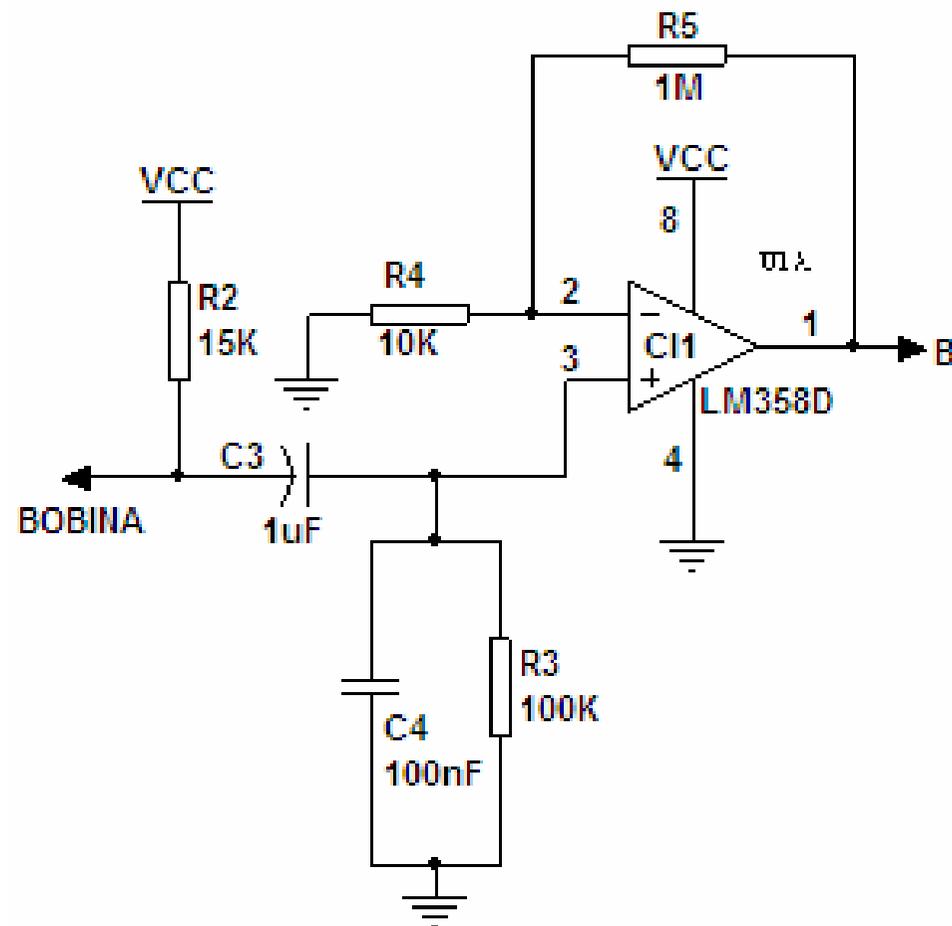
Etapa de fuente de poder del CCL

Bobina

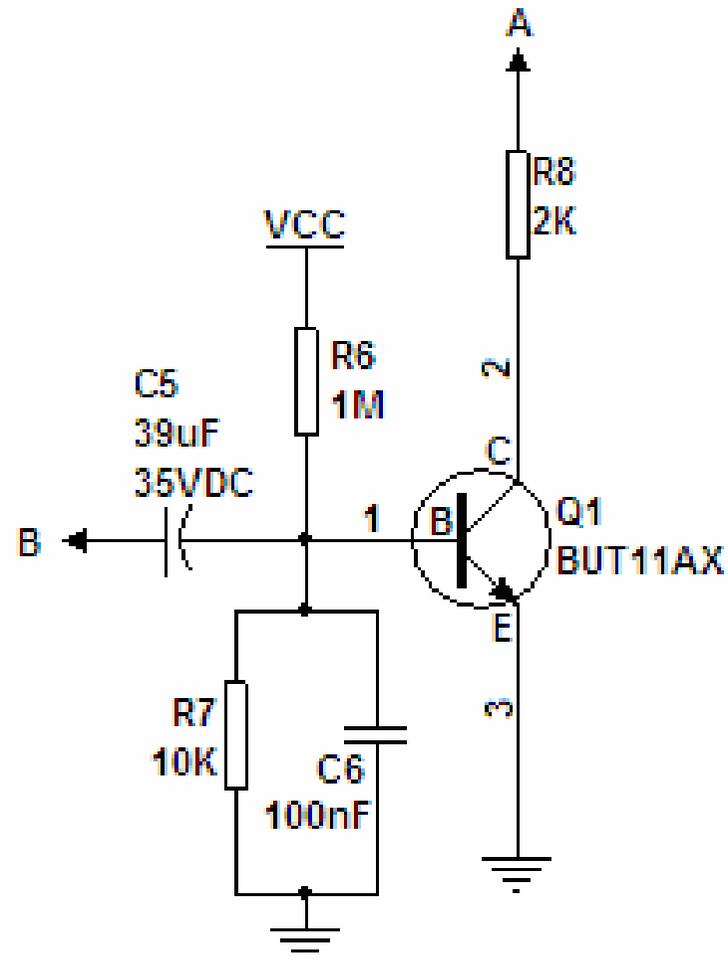


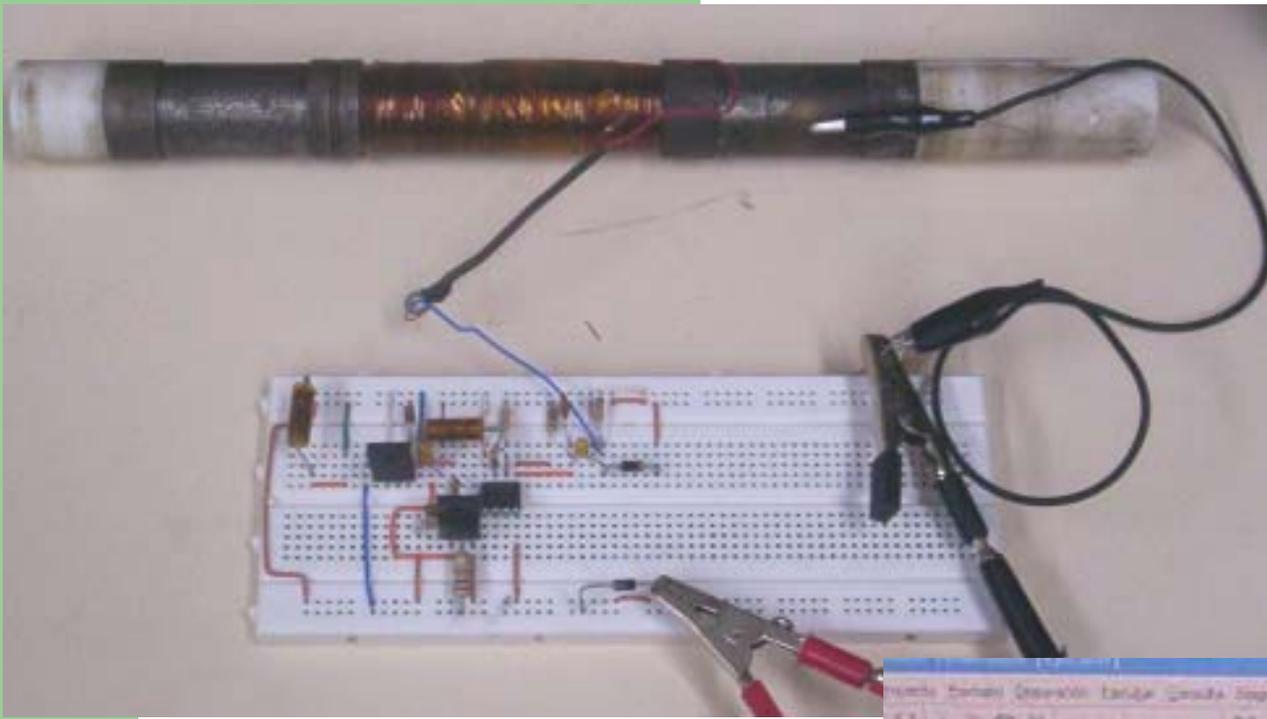
Imanes

Amplificador del CCL

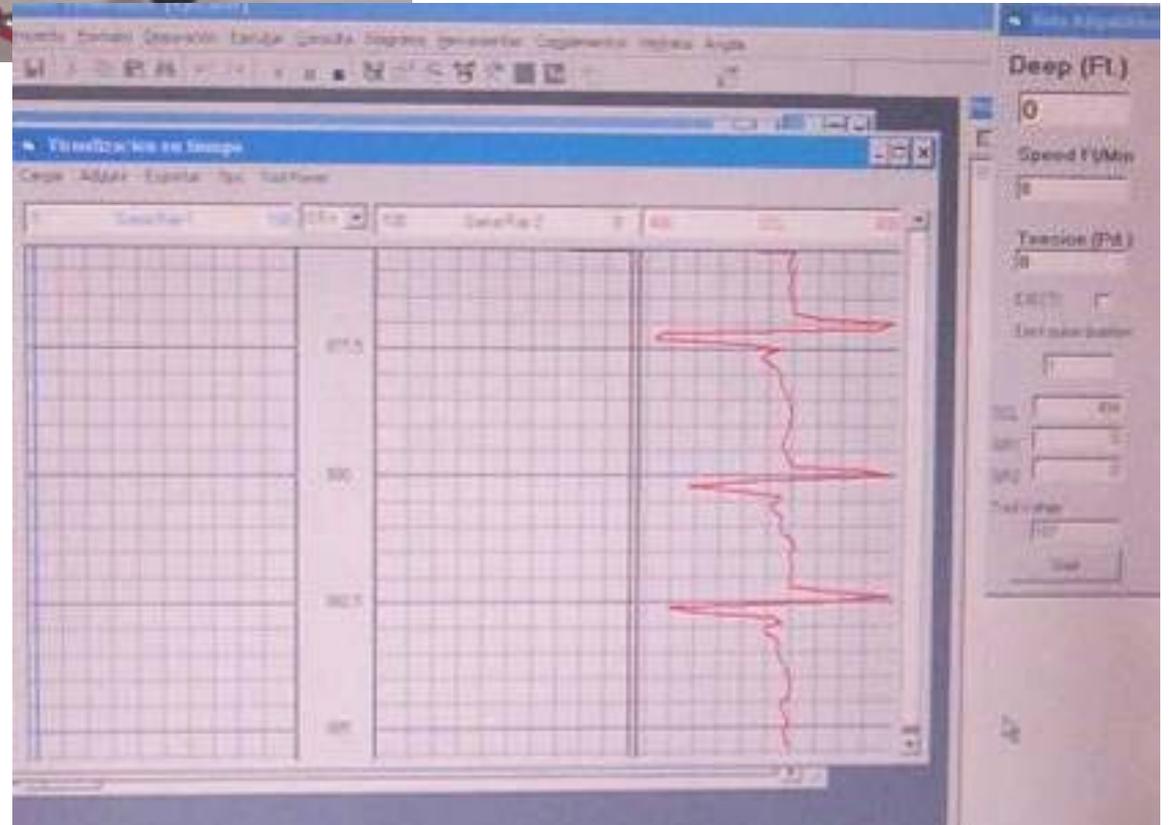


Circuito de salida del CCL

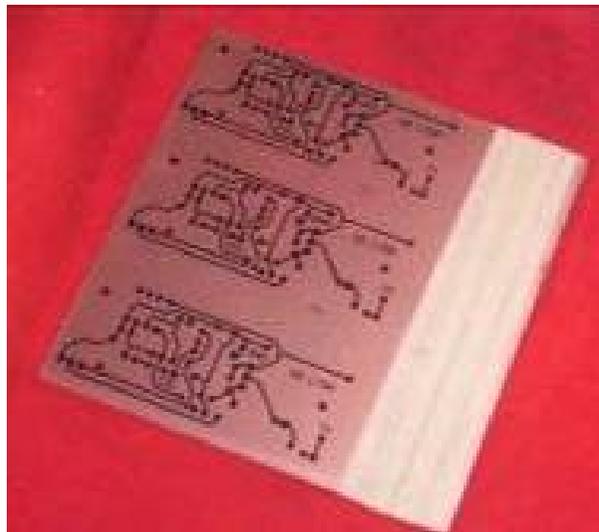
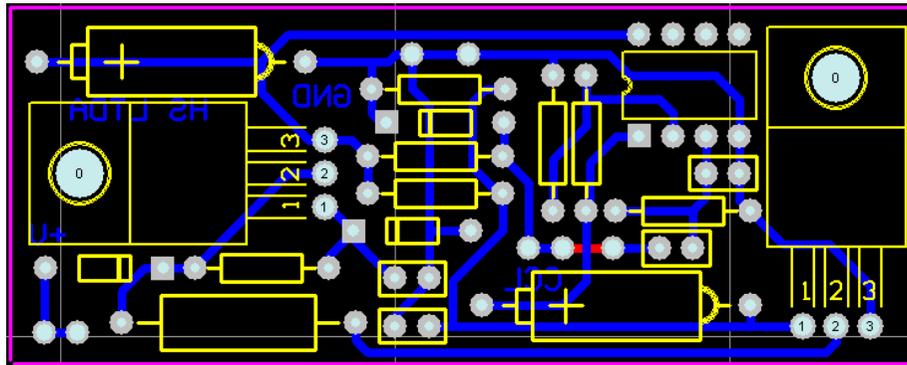




Montaje de sistema de pruebas



Montaje final





Herramienta CCL final



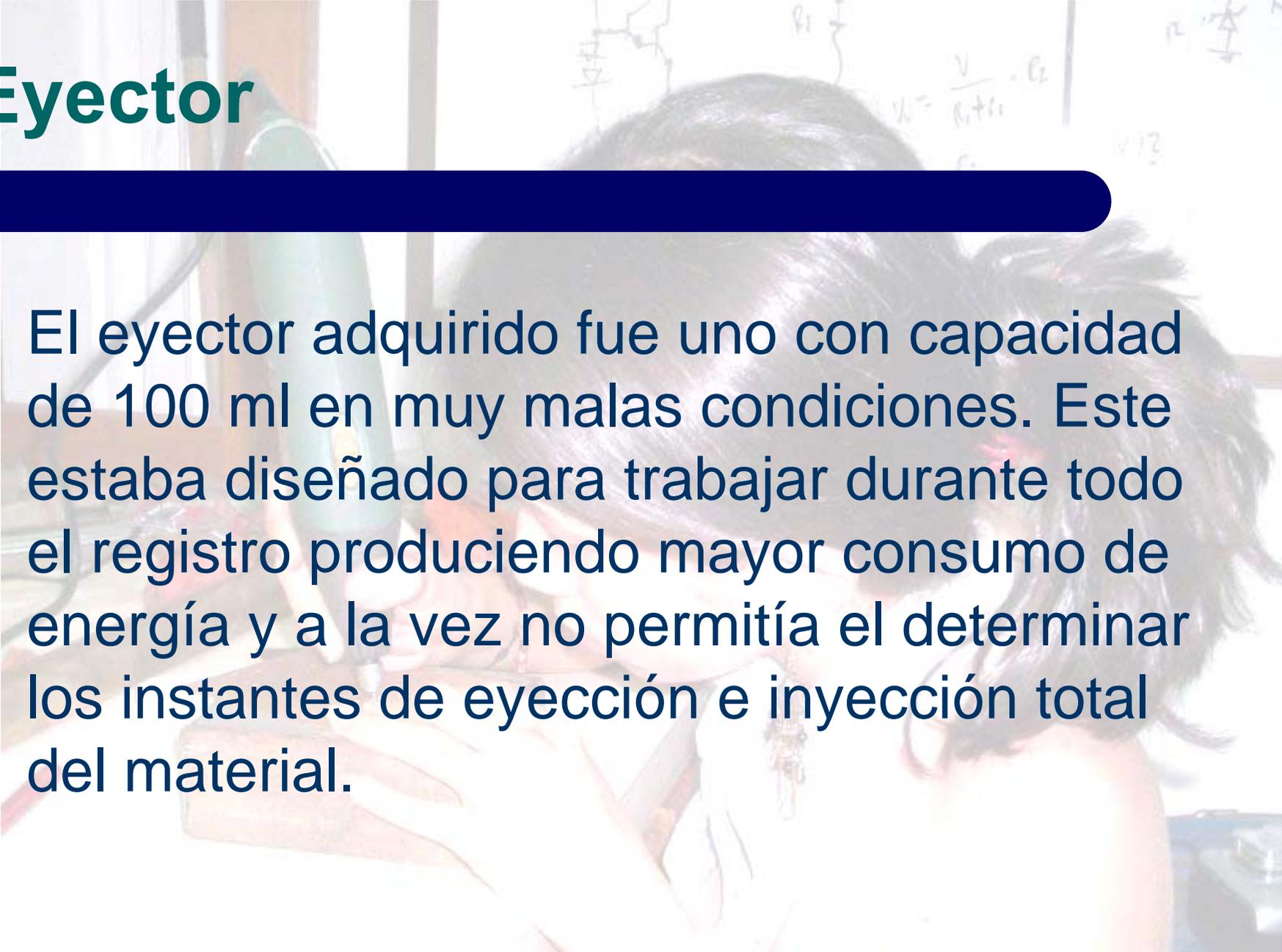


DISEÑO DE LA ETAPA DEL EYECTOR

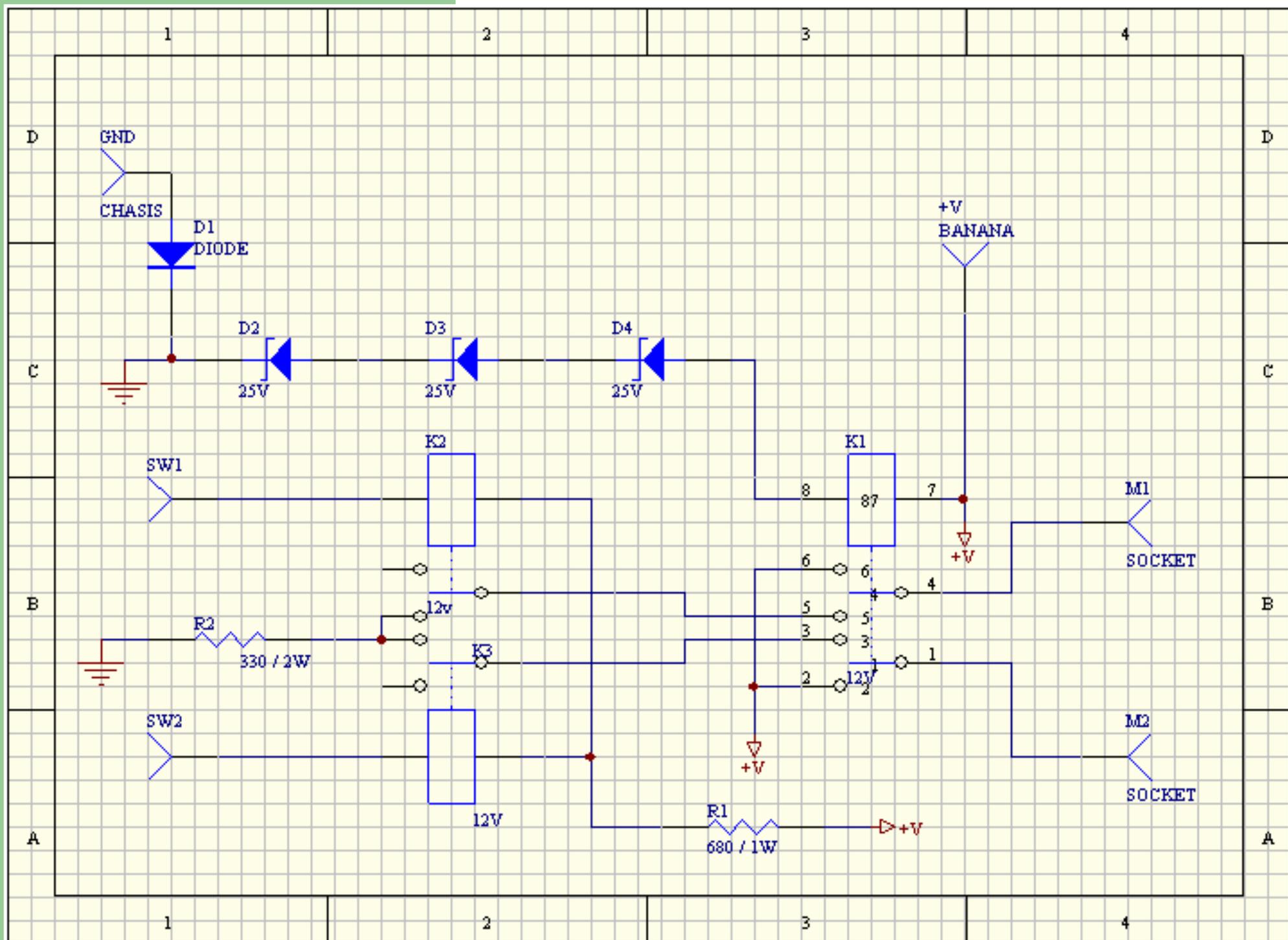
Diseño del eyector de material Radioactivo

Se presentó en la mitad del proyecto una situación inesperada: la empresa requería de inmediato la herramienta del Trazador Radioactivo para realizar trabajos en campo. Por lo anterior, y debido a que no se contaba con el eyector, se adquirió uno cuyo funcionamiento no era el adecuado para el software de adquisición en superficie. Así que se diseñó un sistema con relevos para acondicionarlo.

Eyector

A woman with dark hair is working in a laboratory. She is holding a blue eyector device. In the background, there are whiteboards with handwritten diagrams and equations, including $v = \frac{V}{R_1 + R_2}$.

El eyector adquirido fue uno con capacidad de 100 ml en muy malas condiciones. Este estaba diseñado para trabajar durante todo el registro produciendo mayor consumo de energía y a la vez no permitía el determinar los instantes de eyección e inyección total del material.



Características

Los voltajes y corrientes de operación para el nuevo diseño son las siguientes:

CARGA (Inyección):

54 mA @ 76 VDC

STOP:

84 mA @ 68 VDC

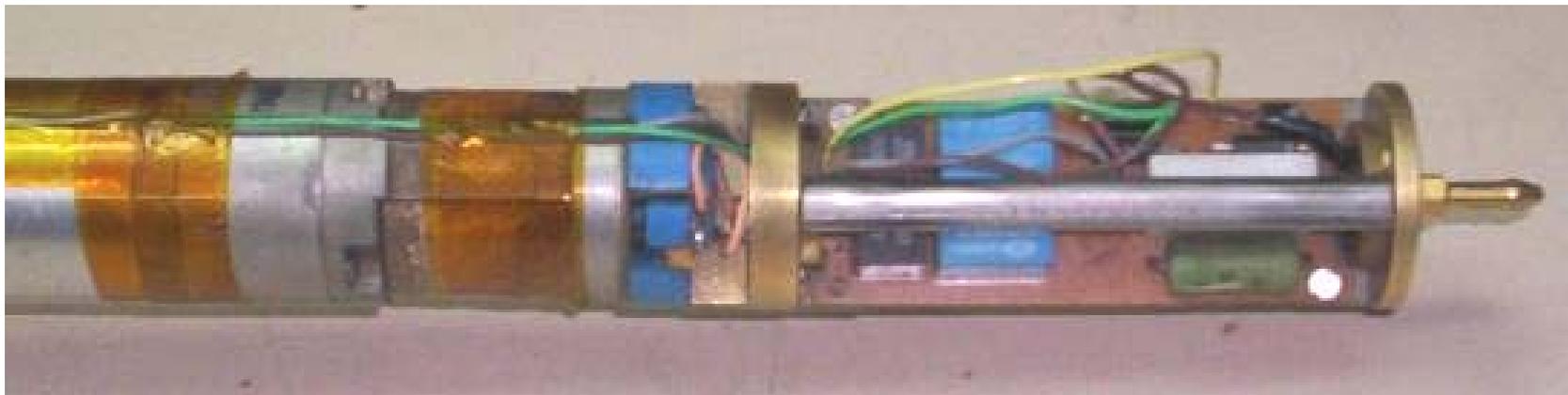
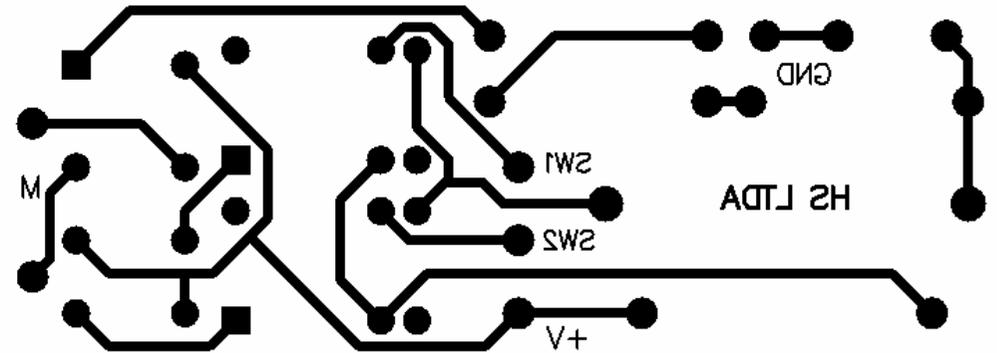
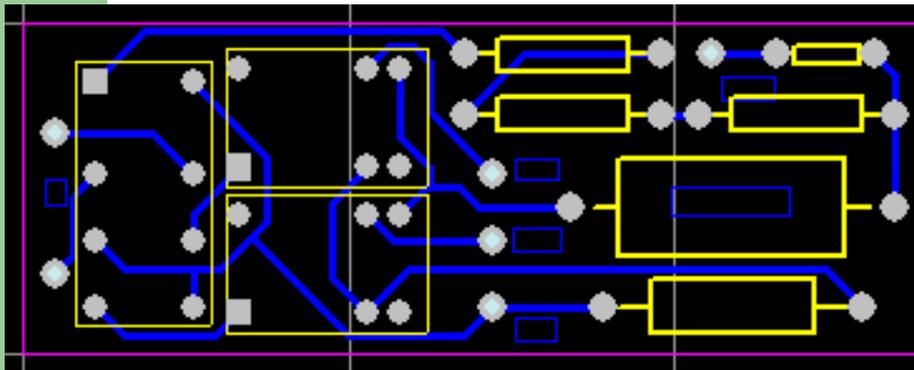
DESCARGA (Eyección):

115 mA @ 92 VDC

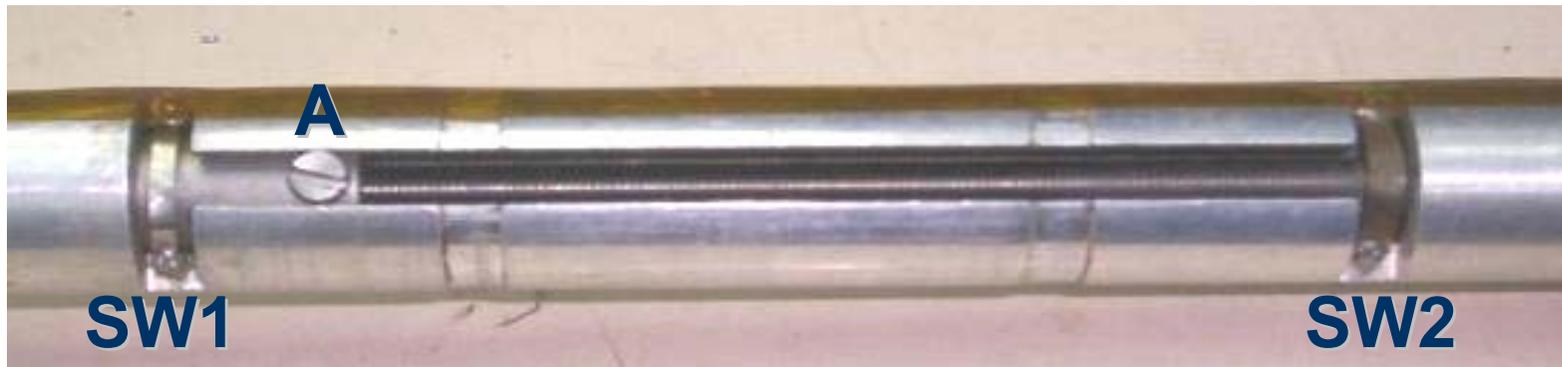
STOP:

130 mA @ 88 VDC

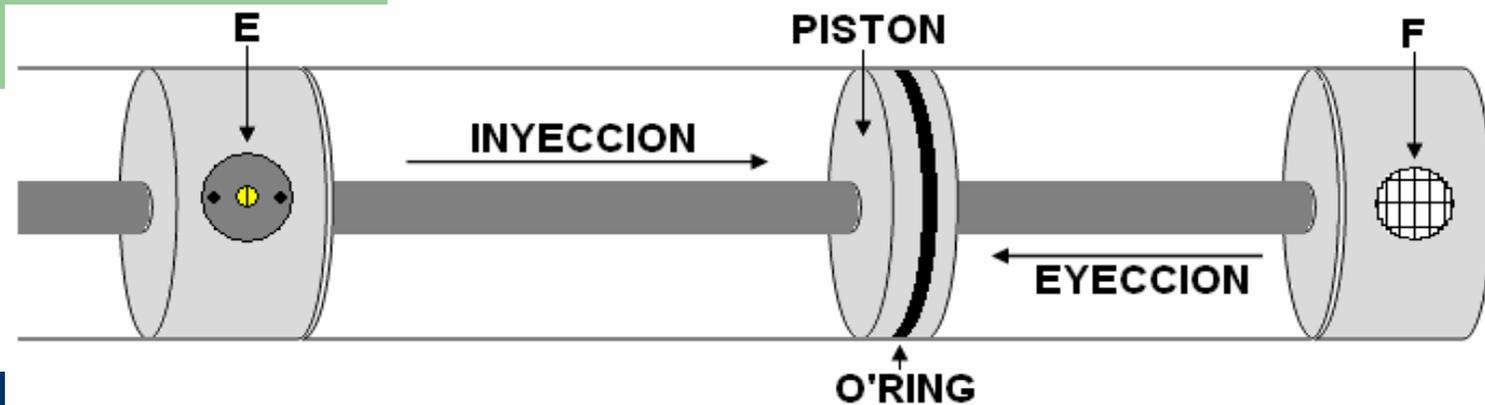
Montaje final del eyector



Motor y funcionamiento

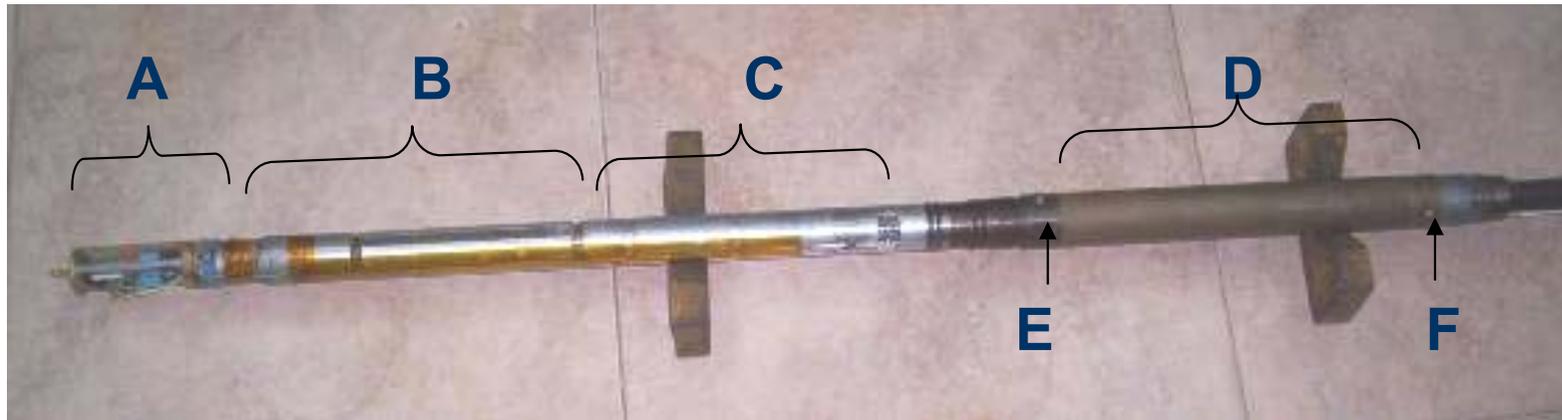


Al finalizar el recorrido del eje del motor en alguno de los dos sentidos, el tornillo A permite la conexión a VCC (que en este caso es el chasis de la herramienta debido a su funcionamiento en inverso), y esto hace que se detenga el motor, hasta que el operador del sistema en superficie cambie el valor de la tensión inversa aplicada para invertir el giro del motor



A través de una perforación sobre el housing ubicada en el punto E de la figura anterior, se carga el cilindro con el material (inyección), y luego se cubre por medio de un chicler con un o´ring que asegura la no introducción del material no deseado. A través de este mismo orificio se hace la inyección del material, por medio de un tornillo más pequeño que contiene el mismo chicler. El punto F lo que hace es evitar que el motor funcione en vacío, es decir, a medida que se va eyectando el material, el cilindro se va desocupando, y ese vacío se llena con el fluido de inyección del pozo

Partes del eyector



La parte A corresponde a la tarjeta electrónica. La parte B es el sistema de conexión a VCC y switches de final de carrera. La C corresponde a una cavidad que aloja al pistón durante su recorrido y la parte D es el cilindro de almacenamiento del material radioactivo (I^{131}).



PRUEBAS EN CAMPO

Pruebas en campo

Durante los días 7 al 10 de febrero del presente año, nos desplazamos hasta una población en el departamento de Santander, para realizar pruebas tanto al CCL, como al nuevo eyector y al sistema de adquisición en superficie implementado por el Ingeniero Felipe Almario.



Pruebas en campo

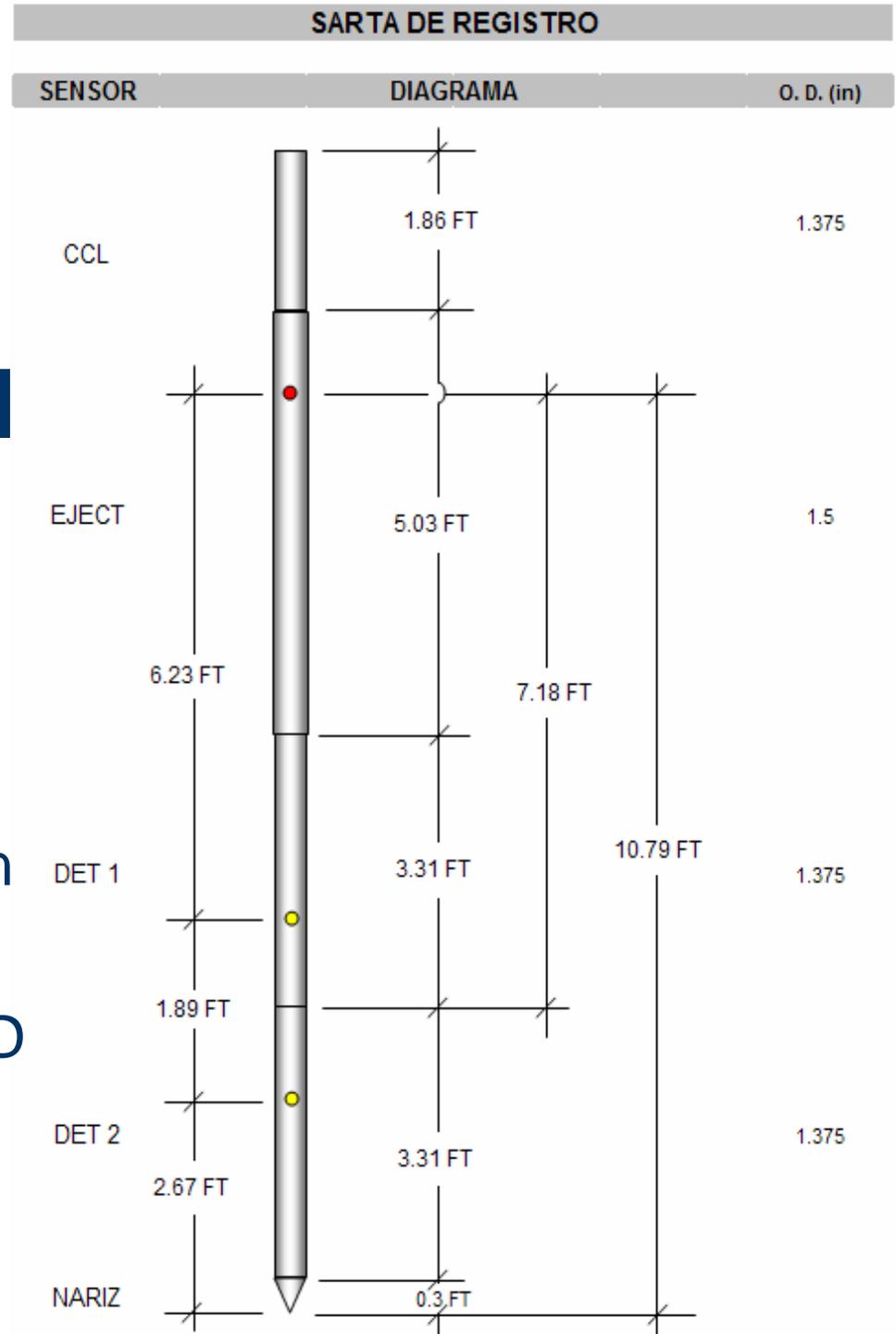
Se procedió a realizar diferentes tipos de pruebas para confirmar el buen funcionamiento de la sarta de Trazador Radioactivo nueva y el sistema de adquisición.

- Prueba con sarta nueva y sistema de adquisición antiguo (Warrior).
- Prueba con sarta antigua y sistema de adquisición nuevo.
- Prueba con sarta nueva y sistema de adquisición nuevo.
- Prueba con sarta antigua y sistema de adquisición antiguo (Warrior).



Datos

OD Tool (in): 1.375
 ID Casing (in): 6.366
 Espaciamiento entre detectores (in): 1.89 ft – 22.68 in
 Fondo del Pozo: 5441 ft
 Caudal en superficie: 184 BWPD
 Presión en superficie: 2150 PSI



CALCULO DEL CAUDAL DE FLUJO DE FLUIDOS EN EL POZO DE PRUEBA

$$Q = \frac{V}{t}$$

$$Q = \frac{\frac{\pi \times (D^2 - d^2)}{4} \times E \times \left(\frac{1 \text{ft}^3}{12^3 \text{inch}^3} \right) \times \left(\frac{1 \text{bbl}}{5.61458 \text{ft}^3} \right)}{t \times \left(\frac{1 \text{Dia}}{86400 \text{seg}} \right)}$$

$$Q = \frac{6.9942 \times E \times (D^2 - d^2)}{t}$$

Q = Barriles de Fluido por día (BWPD)

D = Diámetro interno de la Tubería o Casing (inch)

d = Diámetro externo de la Sarta de Registro (inch)

E = Espaciamiento entre detectores o Detector y Eyector (inch)

t = Tiempo (seg)

A = Área entre el Diámetro interno de la Sarta y el Diámetro Interno del Casing o Tubería

V = Volumen

CAUDAL CON SARTA ANTIGUA Y SISTEMA DE ADQUISICIÓN ANTIGUO (WARRIOR) A 300 PIES

$$Q = \frac{6.9942 \times 22.68 \times (6.366^2 - 1.375^2)}{34.047}$$

$$Q = 180 \text{ BWPD}$$

CAUDAL CON SARTA NUEVA Y SISTEMA DE ADQUISICIÓN NUEVO A 300 PIES

$$Q = \frac{6.9942 \times 22.68 \times (6.366^2 - 1.375^2)}{34.821}$$

$$Q = 176 \text{ BWPD}$$

Análisis de Resultados

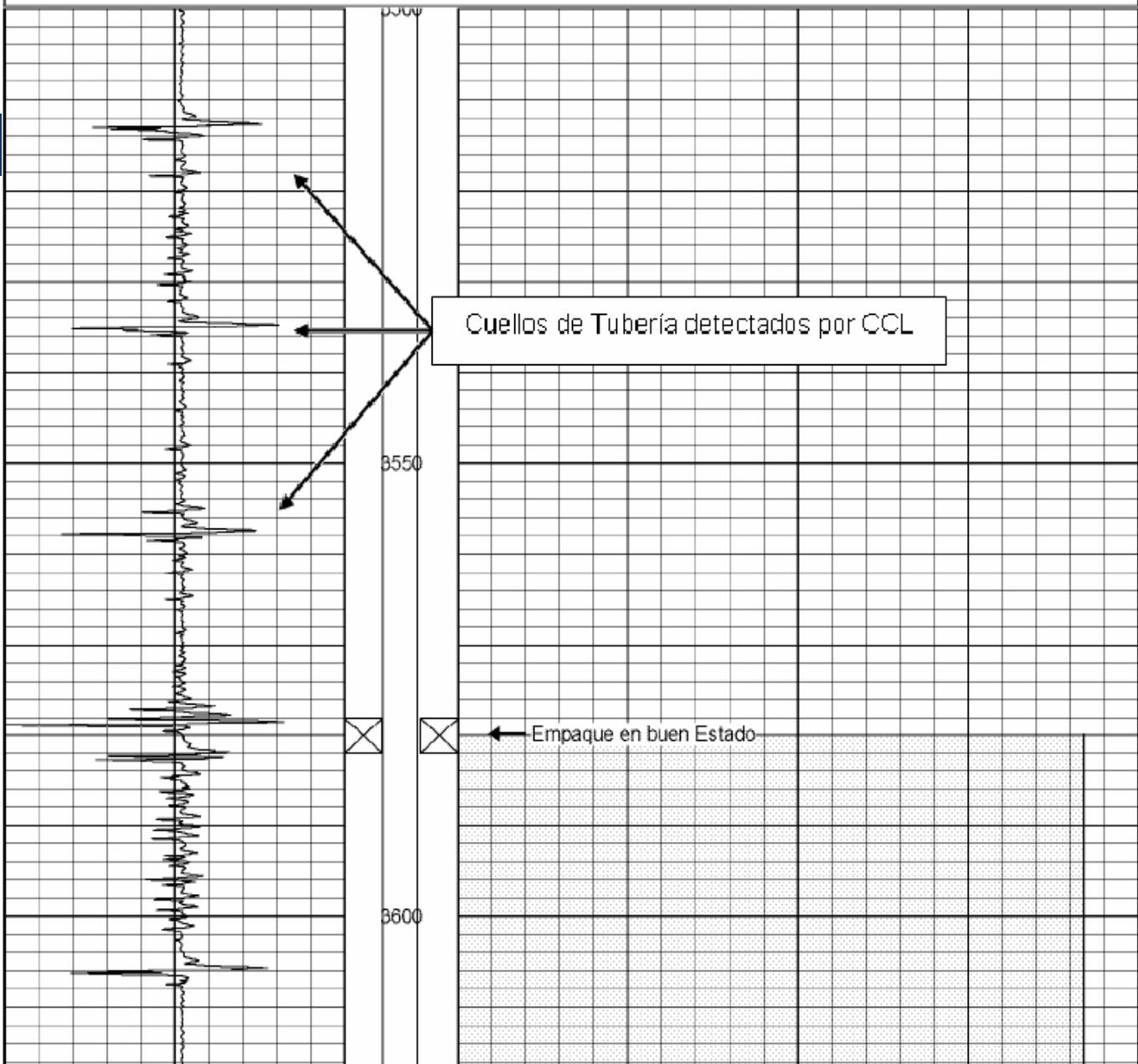
Al obtener estos dos resultados comprobamos el funcionamiento aceptable del trazador radioactivo y su confiabilidad, teniendo en cuenta que la diferencia entre los datos de las dos pruebas se encuentra dentro de un rango muy bajo. Se habla de una tolerancia del 10% para los datos obtenidos.

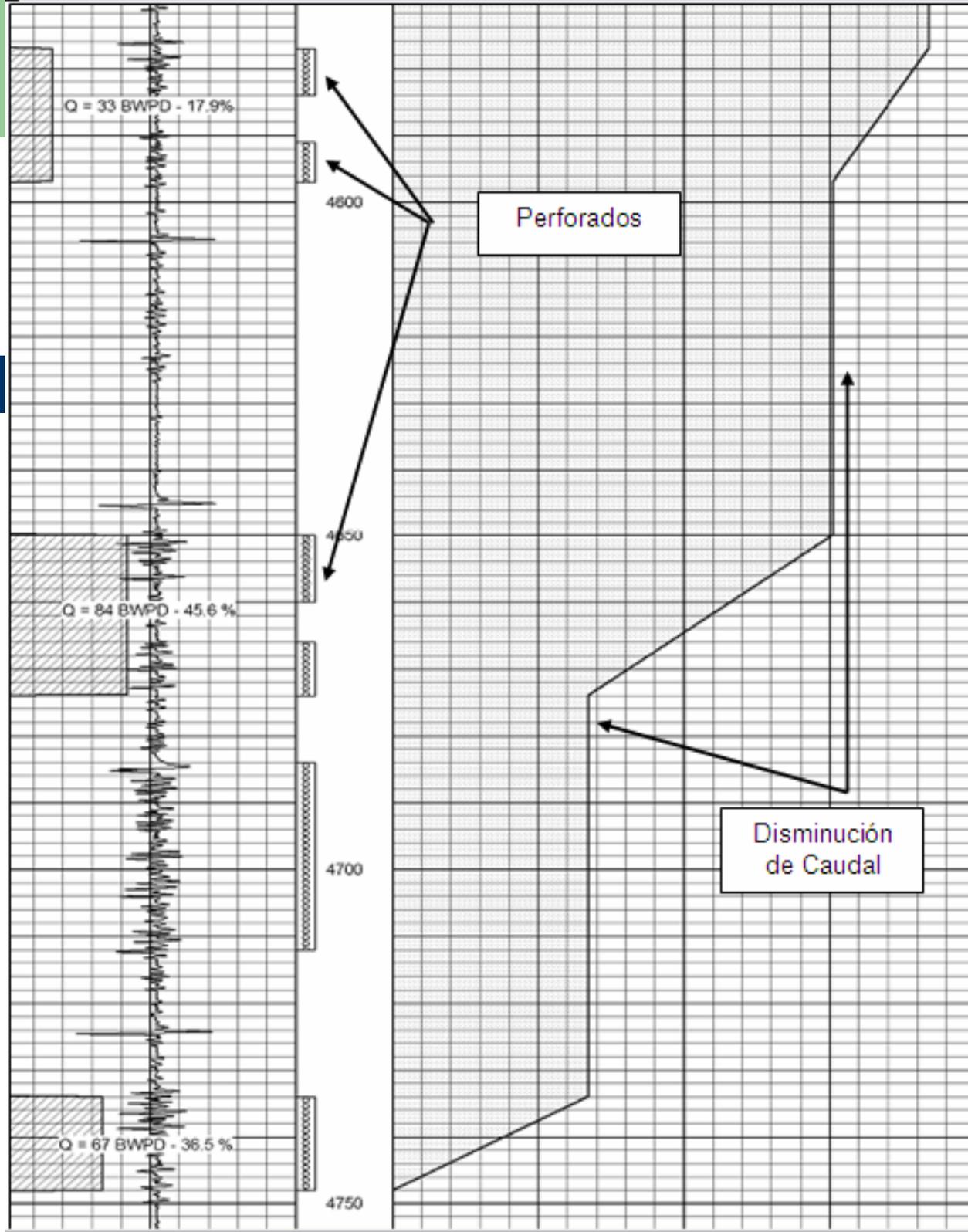


PERFIL DE INYECCION

Caudal por intervalo (BWPD) - Caudal total (BWPD) - CCL

-20	CCL	20	0	FLOWVEL (b/d)	200
0	DV (b/d)	200			





Perforados y caudales

<i>PERFORADOS (PIES)</i>	<i>% CAUDAL TOMADO</i>
4577 - 4584 4591 - 4597	17.9
4650 - 4660 4666 - 4674	45.6
4734 - 4748	36.5

Lo anterior nos indica que solamente estos perforados están permitiendo la toma de fluido hacia las zonas donde se ubican. Están tomando el 100% del caudal inyectado. Los restantes perforados no toman ningún porcentaje del fluido.



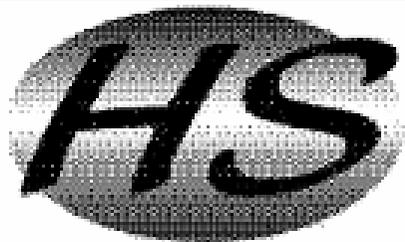
TRAZADORES RADIOACTIVOS

HYDROCARBON SERVICES LTDA.

Fecha : FEBRERO 08 / 2007

Tope Intervalo (ft)	Base Intervalo (ft)	Espesor Intervalo (ft)	Profundidad disparo (ft)	Tiempo inicial (Seg)	Tiempo final (Seg)	Tiempo (seg)	Q _{CRUCE} (BWPD)	Delta Q _{CRUCE} (BWPD)	% Q _{CRUCE}	Presion (psi)	BPD/Ft
CALCULO EN TUBERIA			3500	9.8	23.1	13.3	184	-	-	2150	-
4544	4549	5	4544**	10	150	140	184	0	0	2150	0.00
4577	4584	13	4577**	10	150	140	184	33	17.9	2150	2.54
4591	4597										
4650	4660	18	4640	10	164	154	151	84	45.6	2150	4.67
4666	4674										
4684	4712	28	4686	10	360	350	67	0	0.0	2150	0.00
4734	4748	14	4724*	10	400	390	67	67	36.5	2150	4.79
4758	4764	6	4759	10	N/D	-	0	0	0	2150	0.00
4784	4794	10	4784	10	N/D	-	0	0	0	2150	0.00
4805	4815	10	4806	10	N/D	-	0	0	0	2150	0.00
4884	4890	6	4884	10	N/D	-	0	0	0	2150	0.00
4926	4942	16	4926	10	N/D	-	0	0	0	2150	0.00
4950	4962	12	4952	10	N/D	-	0	0	0	2150	0.00
4971	4977	6	4972	10	N/D	-	0	0	0	2150	0.00
5054	5066	12	5054	10	N/D	-	0	0	0	2150	0.00
5082	5088	6	5082	10	N/D	-	0	0	0	2150	0.00
5366	5386	20	5366	10	N/D	-	0	0	0	2150	0.00
5398	5412	30	5398	10	N/D	-	0	0	0	2150	0.00
5418	5434										

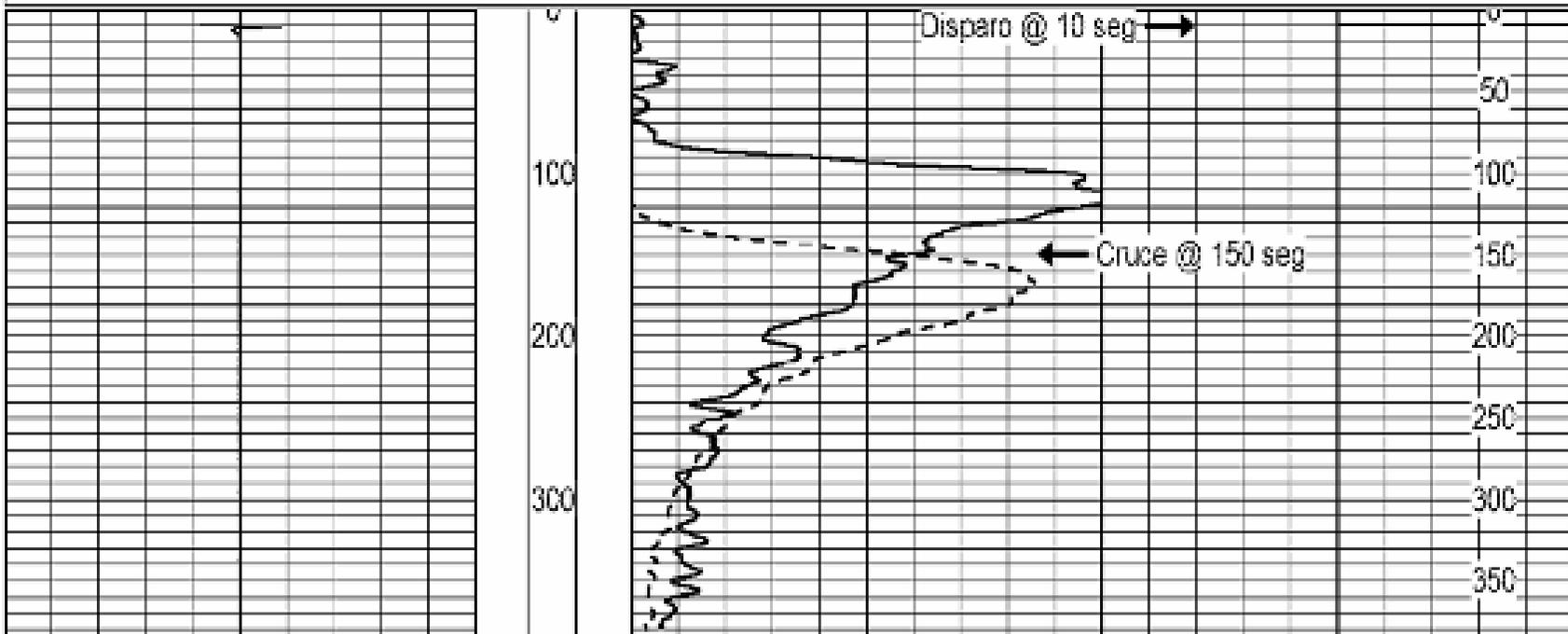
Toma de datos para caudal diferente de cero



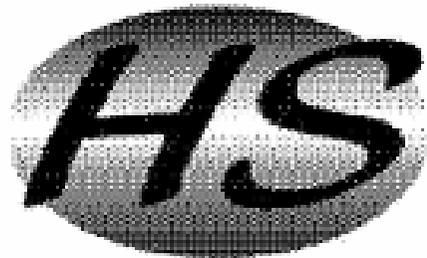
ESTACION @ 4544 FT

INTERVALO 4544 - 4549 FT
 Tiempo = 140 seg - Q = 166 BWPD

-300	CCL	300	10	DET2 (GAPI)	300	-0.5	EJECT	0.5
			35	DET1 (GAPI)	300			



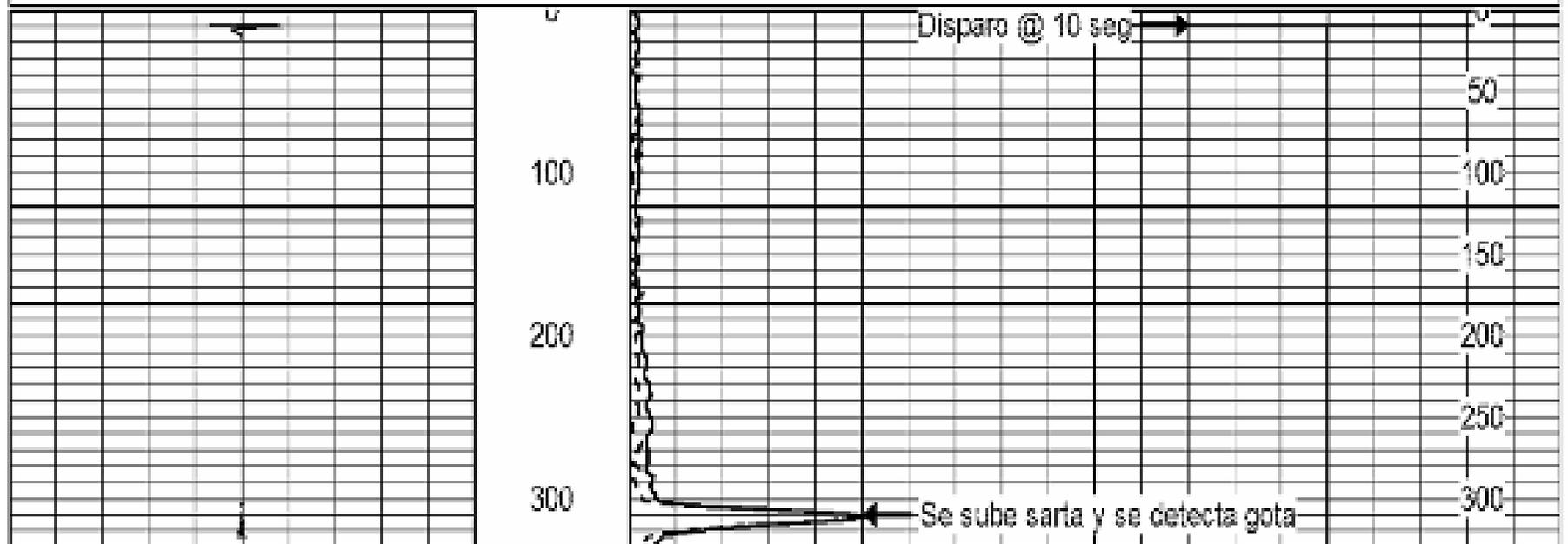
Toma de datos para caudal igual a cero



ESTACION @ 4759 FT

INTERVALO 4758 - 4764 FT
CERO FLUJO

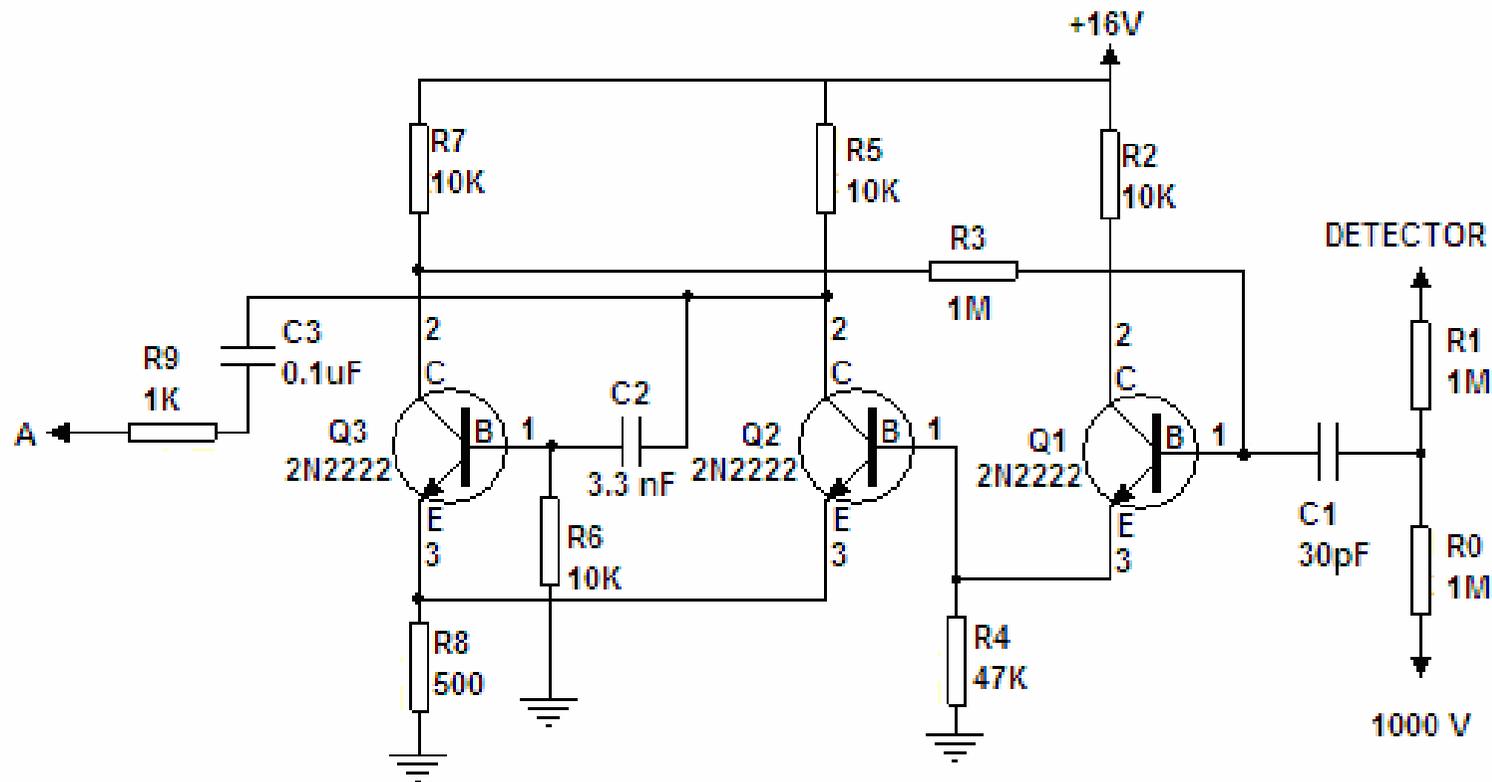
-300	CCL	300	5	DET2	200	-0.5	EJECT	0.5
			0	DET1	200			





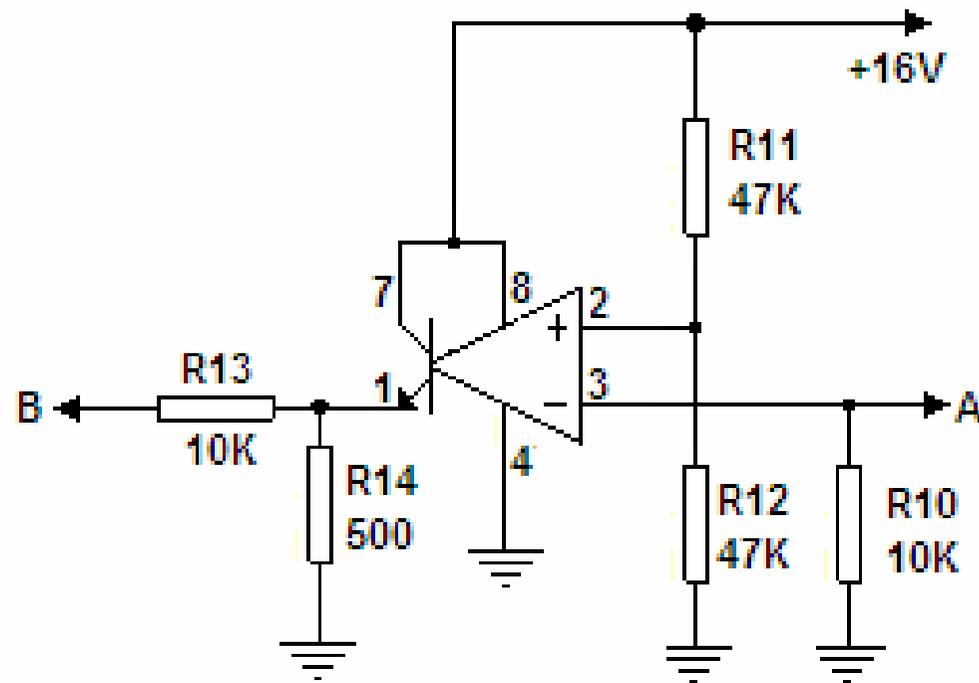
DISEÑO DE LOS DETECTORES DE RAYOS GAMMA

Diseño de los detectores de Rayos Gamma



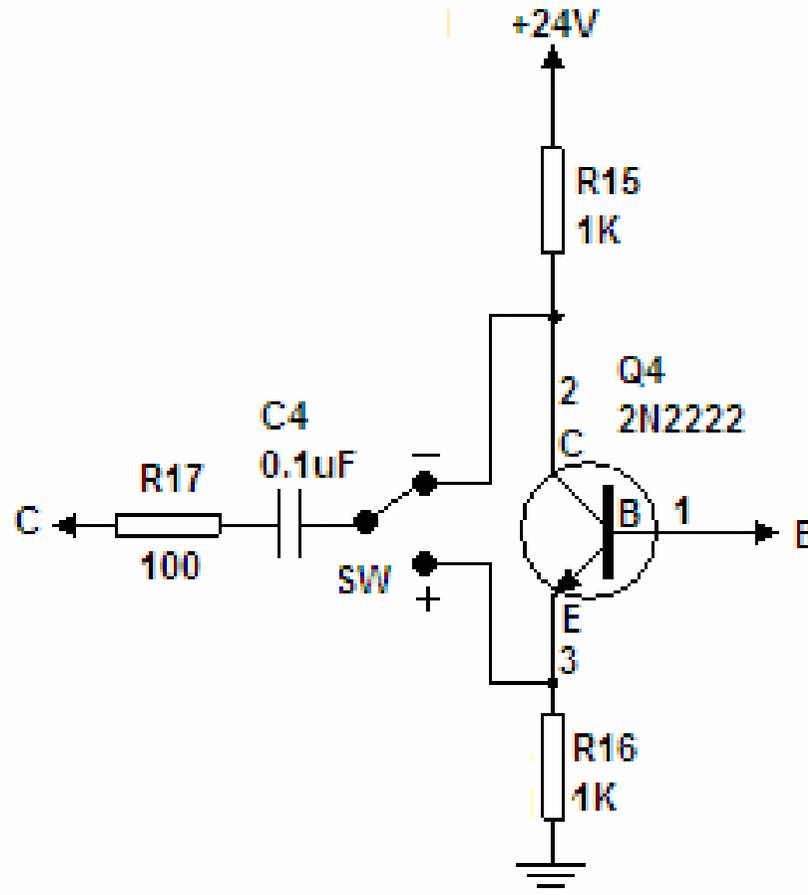
Etapa amplificadora de los detectores

Etapas detector de Rayos Gamma



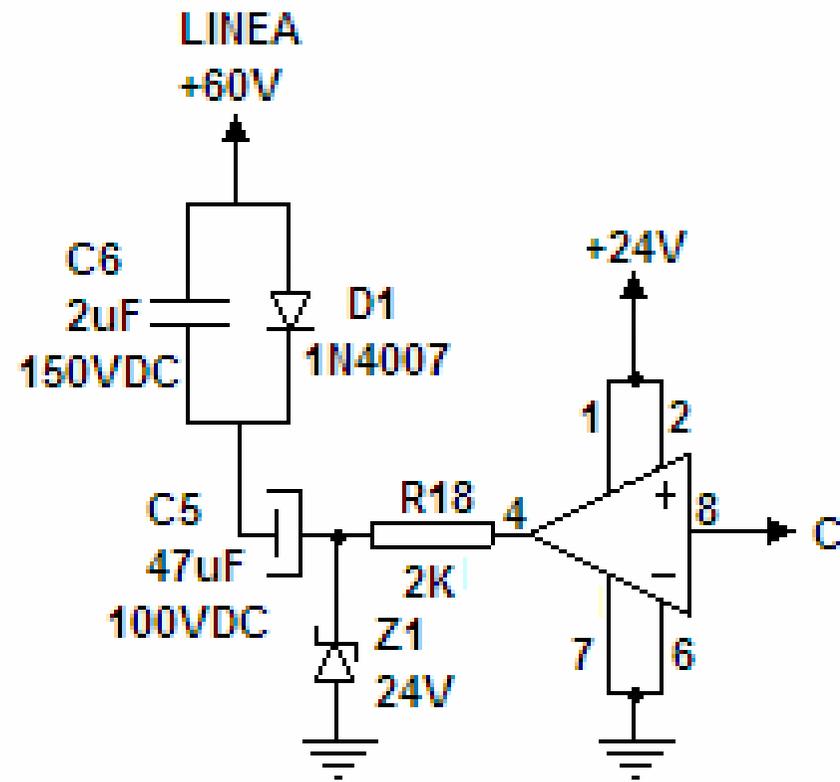
Comparador de Voltaje

Etapas detector de Rayos Gamma



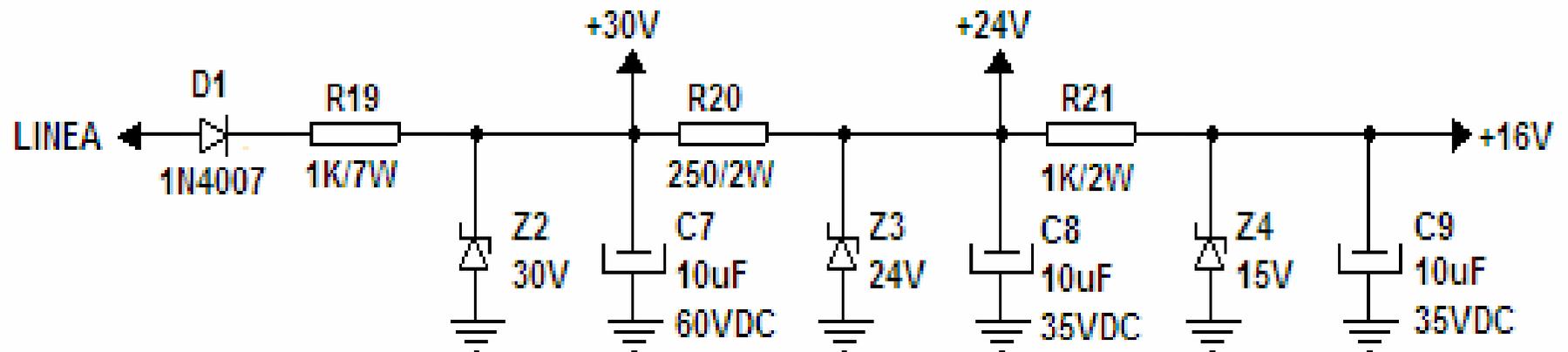
Etapas de inversión para distinción de detectores

Etapas detector de Rayos Gamma



Etapas de buffer

Etapas detector de Rayos Gamma



Fuentes de alimentación

Simulación del circuito detector

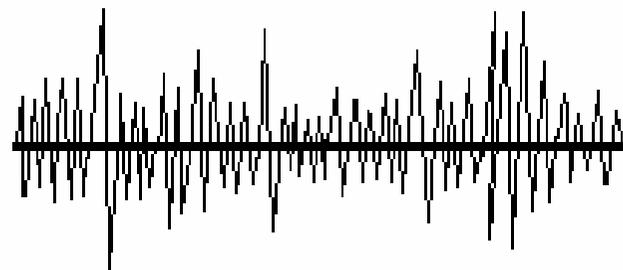
Para poder observar el funcionamiento del circuito y determinar su confiabilidad se procedió a realizar una simulación a través del programa Protel 95 SE. Lo anterior se realizó debido a que no se contaba en el laboratorio con el sensor de rayos gamma Geiger Mueller Gamma Ray Detectors y su fuente de alimentación de 1000 V (HVPS) previstos para este sistema.

Voltaje: HVPS (High Voltage Power Supply) – 1000 V

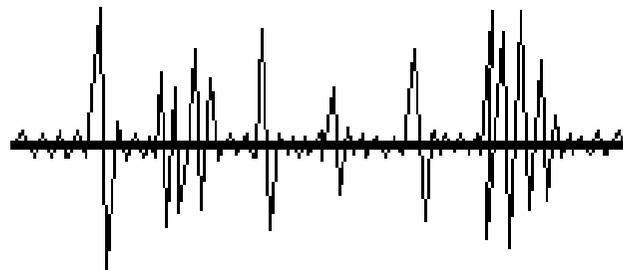
Temperatura: 350° F

Presión: 17.000 PSI

Señales del detector



Salida del detector GM



Salida de etapa amplificadora

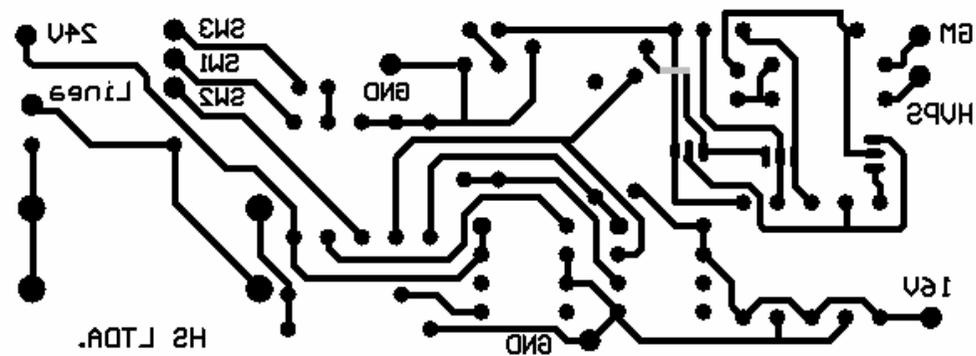
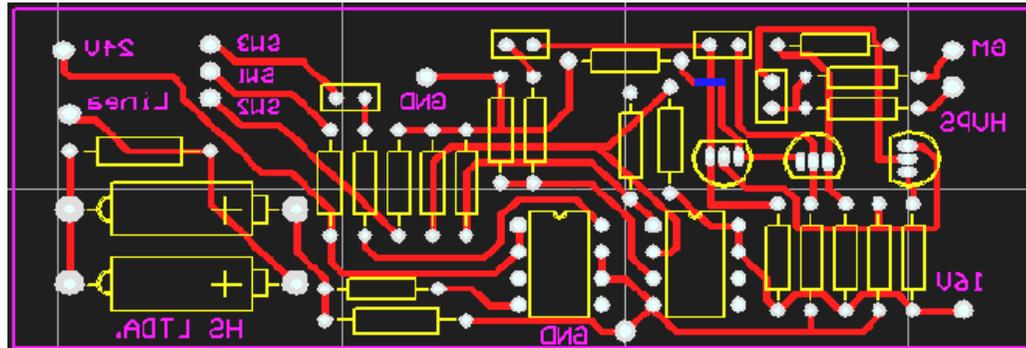


Salida del Buffer para detector positivo

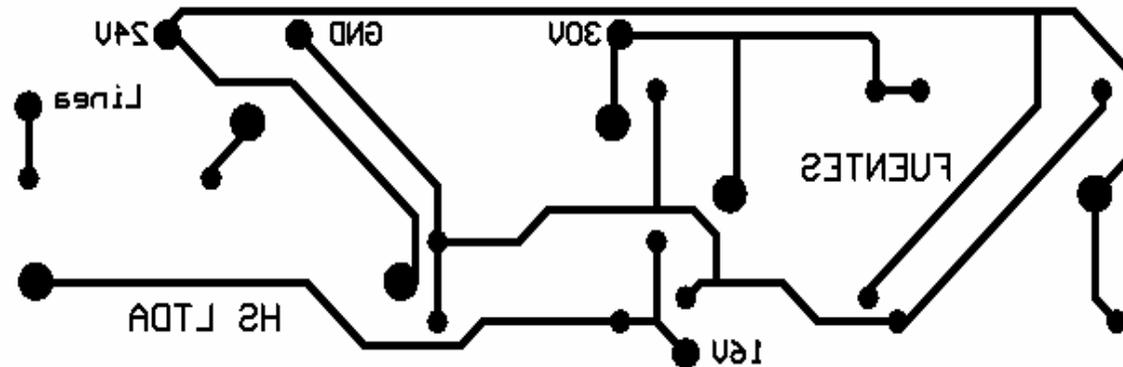
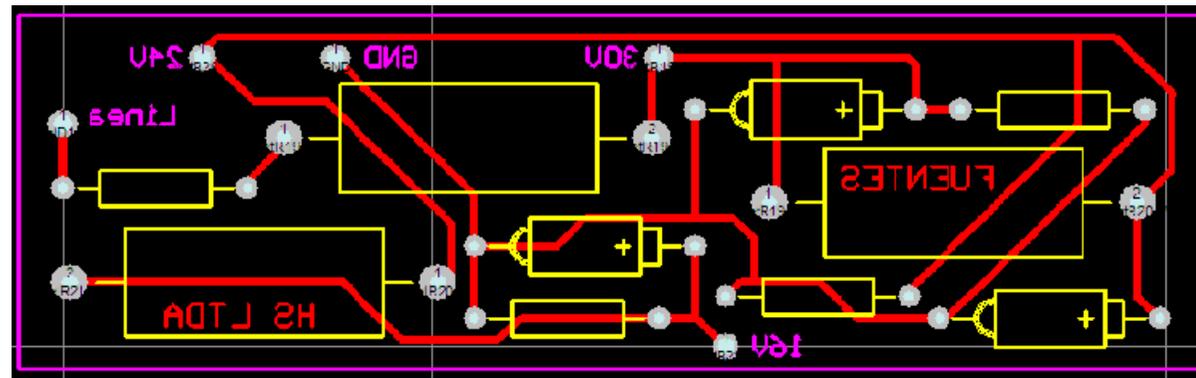


Salida del Buffer para detector negativo

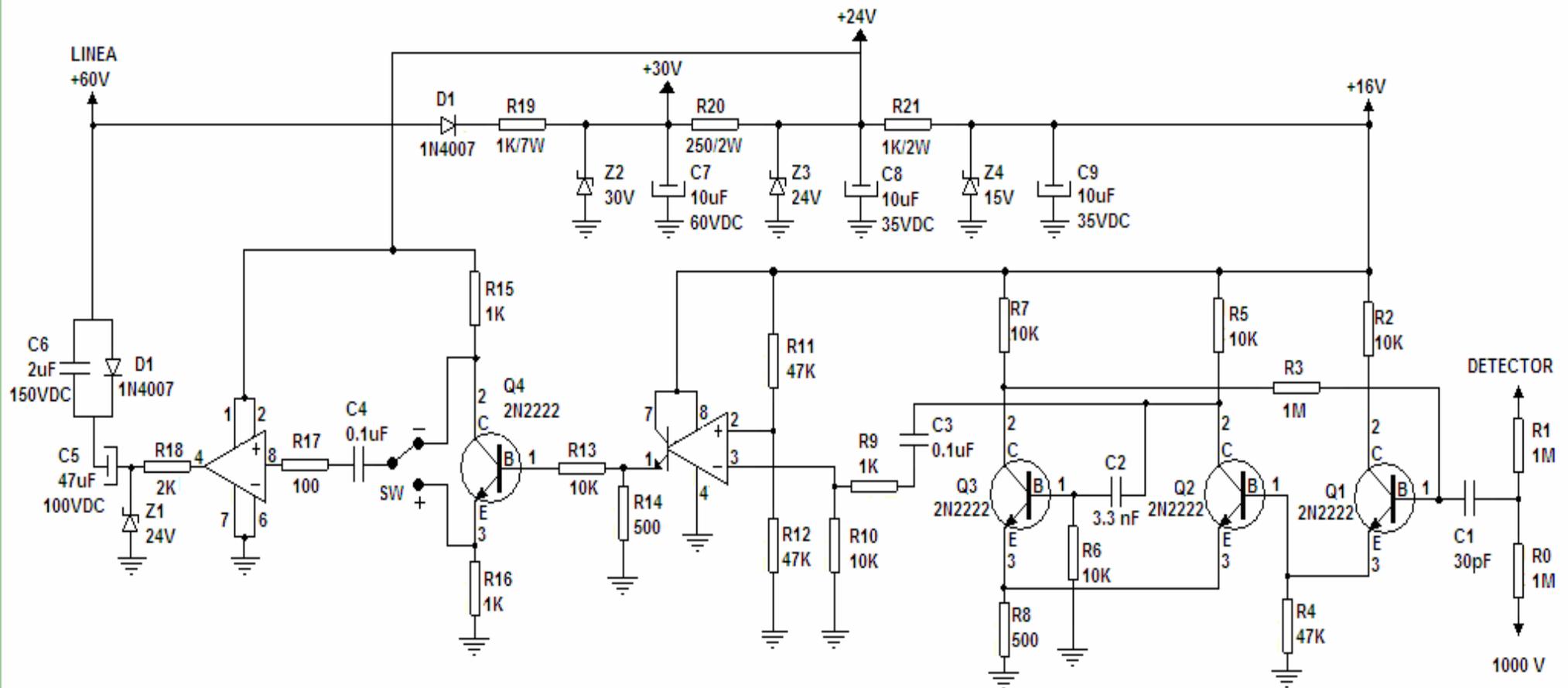
Diseño de PCB de los detectores



Diseño PCB de las fuentes



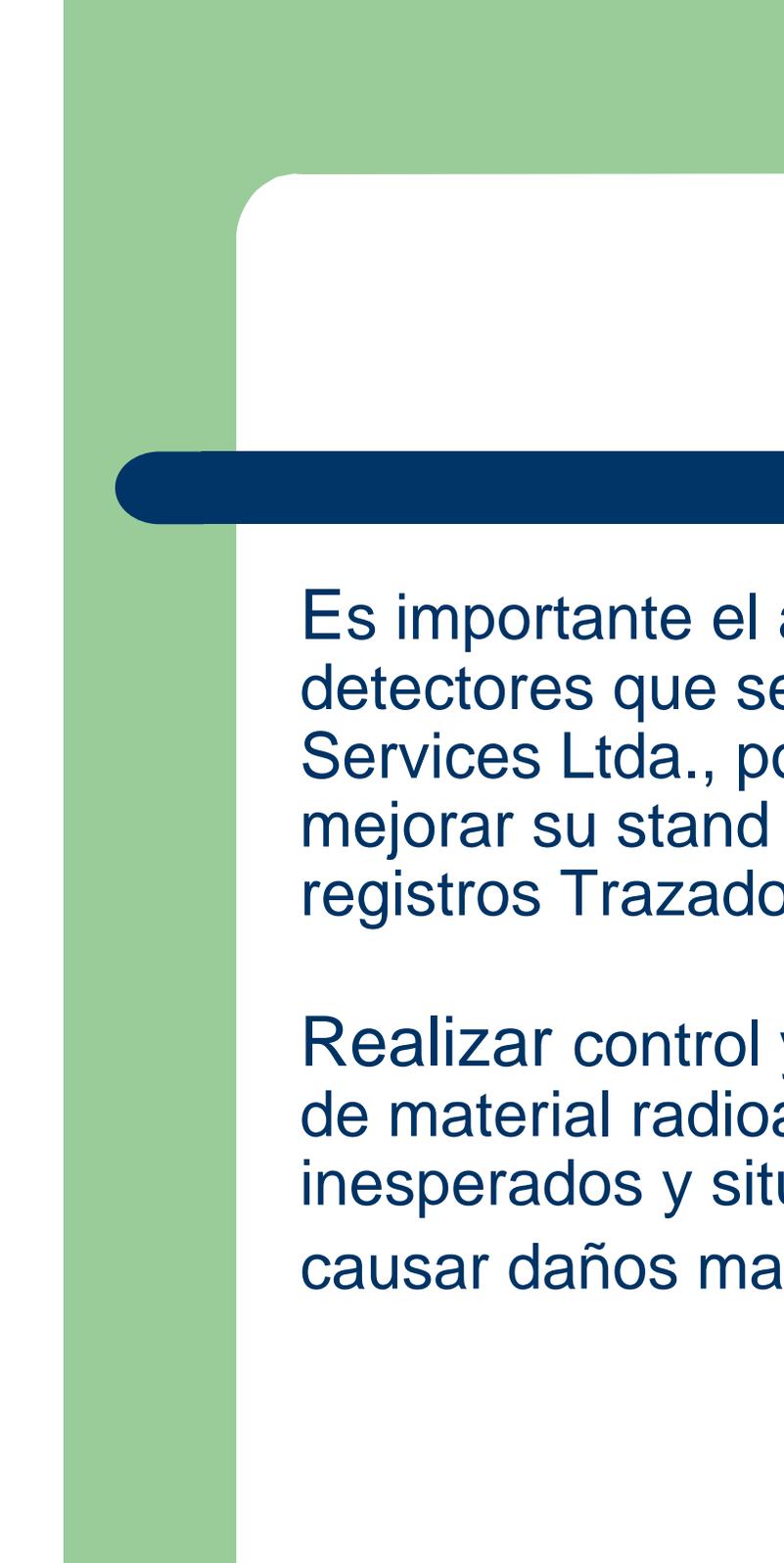
Circuito final detectores



Conclusiones y recomendaciones

El sistema CCL junto con el eyector implementados, permiten acoplarse fácilmente a otras herramientas que requieran de sus utilidades. Esto se demostró mediante la prueba en campo realizada en el departamento de Santander, donde se logró el intercambio entre herramientas y sistemas de adquisición obteniendo resultados confiables dentro de la toma de registros a pozos eyectores

La implementación de sistemas electrónicos para la solución de problemas y el acople entre empresa y estudiante generaron grandes cúmulos de conocimiento y experiencia que de alguna manera brindan confianza dentro del proceso de crecimiento profesional y personal de los involucrados.



Es importante el aprovechamiento del diseño de los detectores que se presentan en este proyecto. Hydrocarbon Services Ltda., podrá implementarlos a su debido tiempo y así mejorar su stand by de herramientas para corrimiento de registros Trazadores Radioactivos.

Realizar control y seguimiento del sistema CCL y del eyector de material radioactivo, con el objetivo de observar cambios inesperados y situaciones que puedan en algún momento causar daños masivos en la herramienta.

