



Descontaminación de suelos

Master en Ingeniería del Medio Ambiente Módulo Suelos

Carlos Dorronsoro Fernández
Dpto Edafología y Química Agrícola
Facultad de Ciencias. Universidad de Granada
efdorrón@ugr.es
<http://edafologia.ugr.es>
<http://www.edafologia.net>



Descontaminación de suelos

Programa general

1 Introducción

2 Técnicas de anulación del suelo

3 Técnicas físicas y químicas

4 Técnicas biológicas

Casos prácticos

En cada una de las técnicas se mostrarán una serie de casos prácticos.



Técnicas físicas y químicas de descontaminación del suelo

Programa general

- arrastre
- lavado
- extracción química
- oxidación/reducción
- deshalogenación
- tratamiento electroquímico
- desorción térmica



Casos prácticos





Situación inicial

Localización. San José, California (USA).

Caso práctico 1. Fairchild





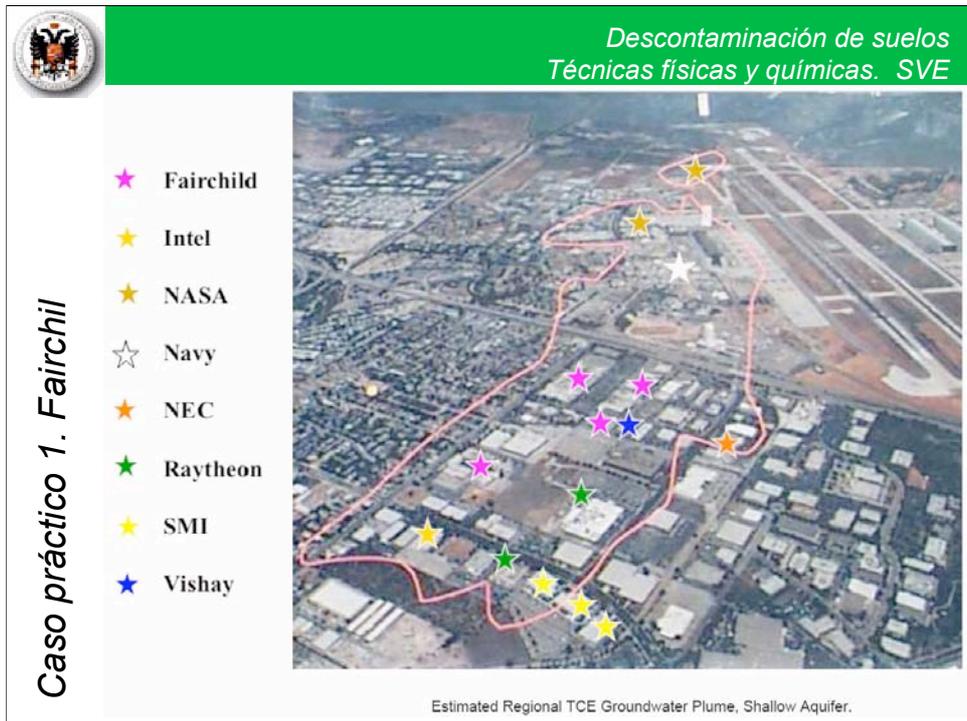
Mountain View, Silicon Valley (Cuartel General de GOOGLE)



Origen de la contaminación

En Mountain View existe un polígono industrial en el que están instaladas un conjunto de industrias: Fairchild Semiconductor, Raytheon, Intel, SMI Holding, NEC, Vishay General Semiconductor y Nokia, entre otras. La zona se conoce como Middlefield-Ellis-Whisman (MEW) y las fábricas allí instaladas se dedican a numerosas manufacturas de: semiconductores, componentes electrónicos, piezas para la industria aeroespacial, construcción de misiles y diversas industrias químicas que manejan gran cantidad de disolventes. Además se encuentran ubicadas en la zona numerosas oficinas comerciales y algunas parcelas agrícolas y áreas residenciales. Como resultado de esta actividad industrial se ha producido una fuerte contaminación de suelos y aguas, por el abandono de residuos, sumideros, vertidos, fugas de depósitos y canalizaciones, etc.

Desde el punto de vista geológico la zona es un abanico aluvial de sedimentos no consolidados



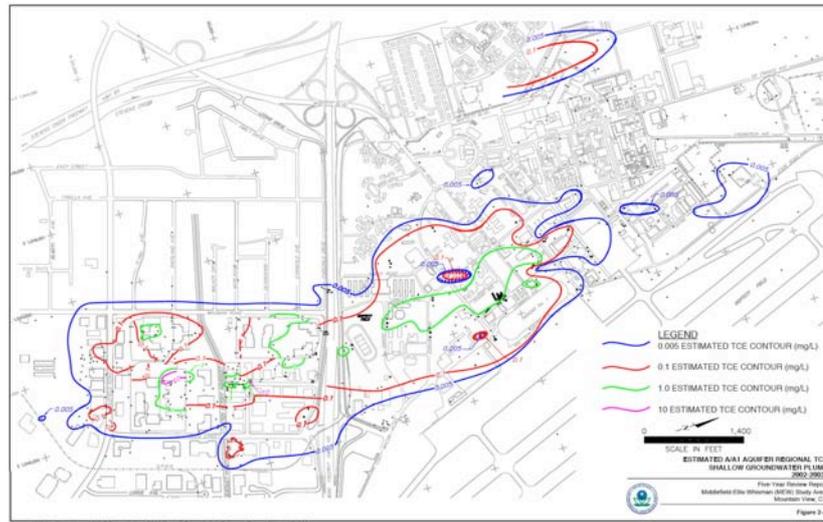
En esta llanura aluvial existen tres acuíferos: a 15, a 30 y a 50 m.

En la década de los 80 una inspección de la EPA pone de manifiesto la gravedad de la contaminación de la zona.

La contaminación se extiende a lo largo de una gran extensión (2.000 ha).



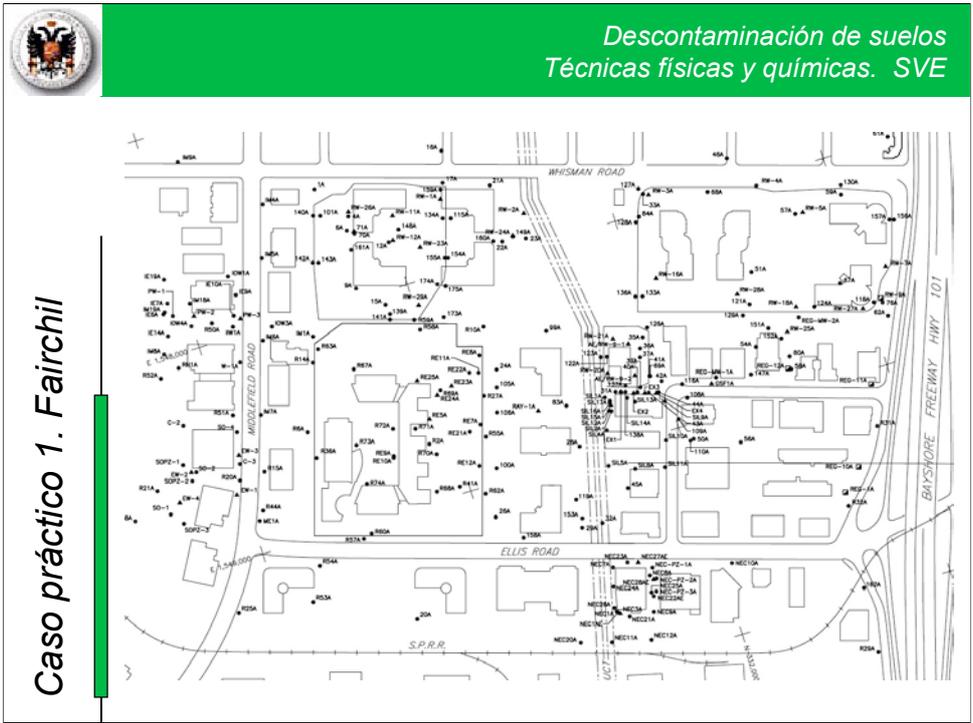
Caso práctico 1. Fairchild



Mapa de la zona más contaminada con las isólineas de las concentraciones de TCE (tricloroetileno) en en acuífero superficial.



Como primera medida de protección se obligó a cada una de las empresas implicadas a realizar un aislamiento de la zona mediante la construcción de una barrera de protección de las aguas subterráneas (línea blanca de la foto). Se construyó mediante una lechada de bentonita para el sellado de los acuíferos de cada zona.



Primer análisis detallado de la gravedad de la contaminación mediante la construcción de numerosos pozos de muestreo. Vamos a centrarnos en una de las zonas de más intensa contaminación edáfica.



Caso práctico 1. Fairchil

Descontaminación de suelos
Técnicas físicas y químicas. SVE

Principales actuaciones sobre los suelos. Zona Fairchil 369

*Descontaminación de suelos
Técnicas físicas y químicas. SVE*

Caso práctico 1. Fairchild

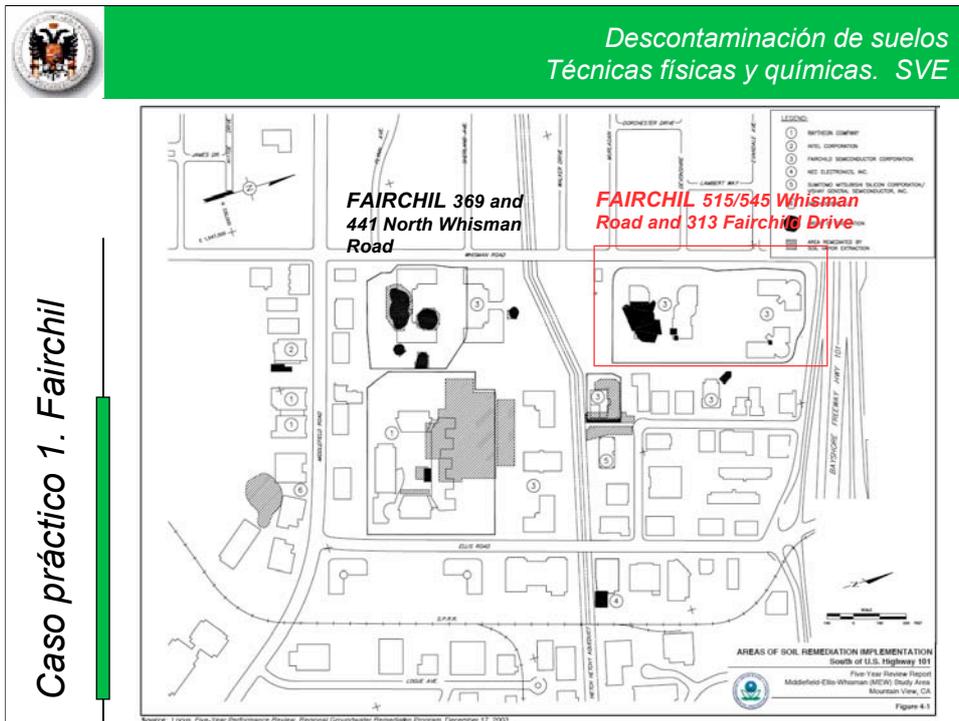


1ª Fase. Suelo superficial. 2 m. Excavación, vertedero, 2.600m³.
2ª Fase. Subsuelo. > 2 m. SVE. 32 pozos. Distancia pozos 20 m.
Depuración de los gases arrastrados mediante filtros de carbón. 10 meses.

Uno de los lugares de más alta contaminación resultó ser el área ocupada por la fábrica de semiconductores Fairchild (unas 23 ha). Concretamente en 1977 se descubre una fuga en un depósito de disolventes orgánicos que contamina el suelo y el agua subterránea. Se calcula un vertido de 230.000 litros.

En 1982 comienzan las labores de limpieza. Se retira el tanque de almacenamiento, se excavan 2,600 m³ de suelo más contaminado y se llevan a un vertedero controlado. En octubre de 1983 cesa la actividad de esta industria. En octubre de 1988 se establece un plan (Remedial Action Plan) para descontaminar la zona.

Las pruebas dieron un área de influencia de 12 m para los pozos



Otra zona contaminada y actuación sobre los suelos: Fairchil 515

*Descontaminación de suelos
Técnicas físicas y químicas. SVE*

Caso práctico 1. Fairchil



Demolición edificios. Retirada de los depósitos subterráneos.
Excavación y aireación de todo el suelo contaminado. 11.500 m³.

Edificios antiguos sobre sustrato muy contaminado. Contaminación del aire del interior del edificio por grietas y fracturas.



Caso práctico 1. Fairchild



EPA, Agency Region 9, September, 2004

AOL/Netscape offices at former Fairchild facility.

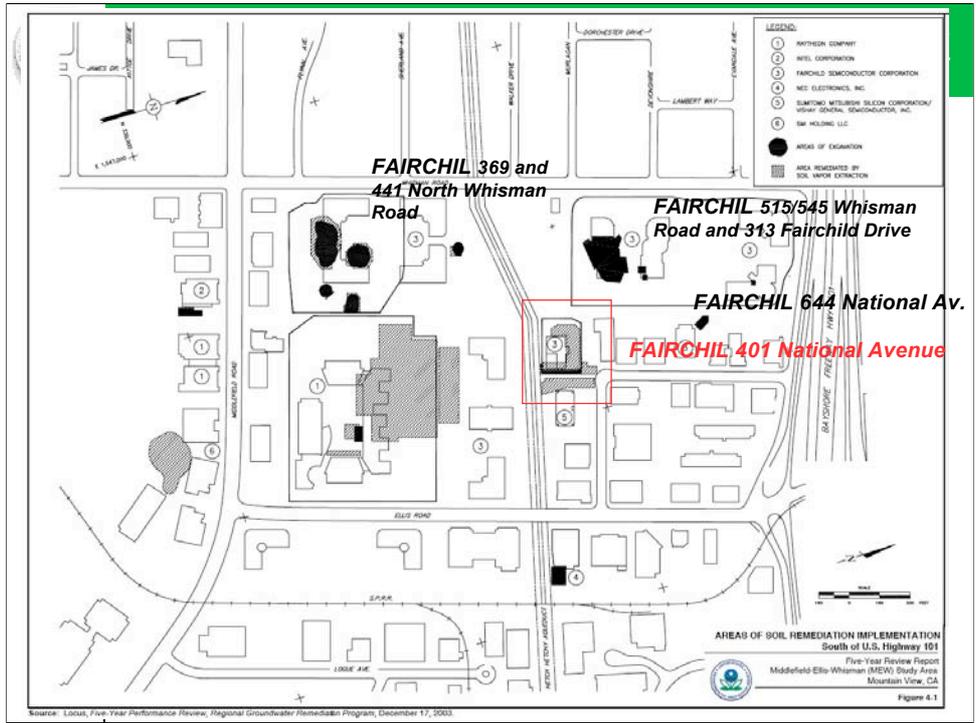
Después de la limpieza se instala en este sitio las oficinas de la American On Line



Caso práctico 1. Fairchil



Excavación y aireación del suelo contaminado en un espesor de 4 m.



Fairchil 401

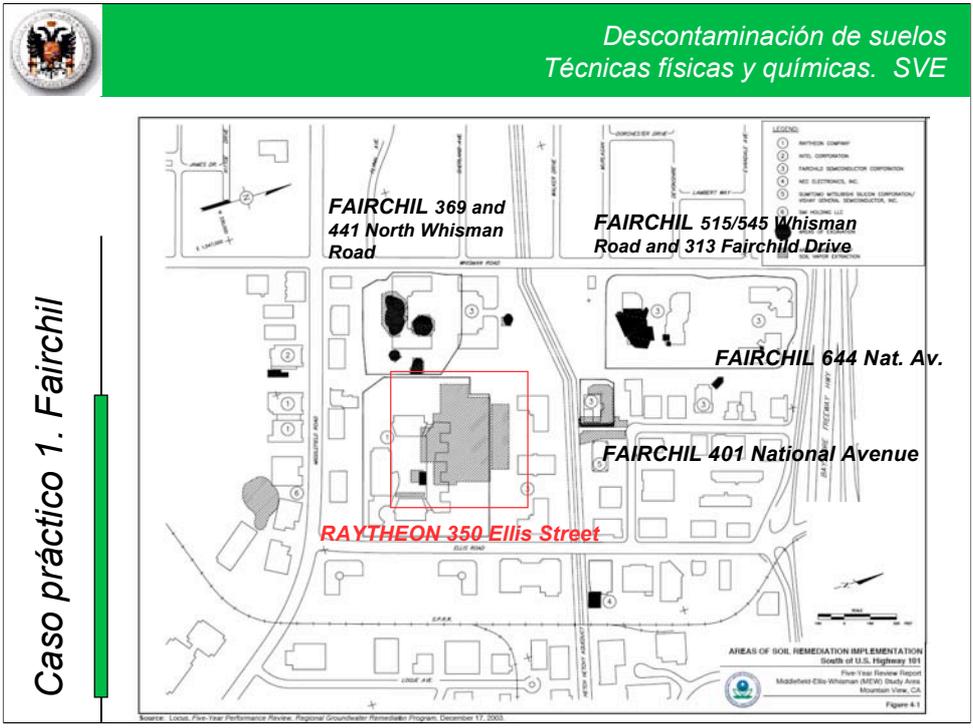
*Descontaminación de suelos
Técnicas físicas y químicas. SVE*

Caso práctico 1. Fairchil



1ª Fase. Suelo superficial. 2 m. Excavación, vertedero. 2.400 m³.
2ª Fase. Subsuelo. > 2 m. SVE con inyección de aire.
29 pozos y 5 de inyec. 16 meses.

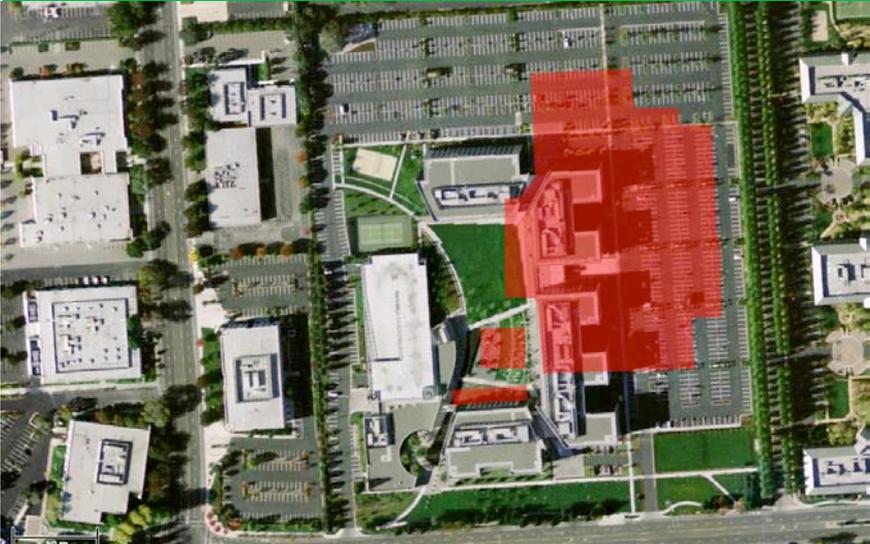
Una parte del sistema SVE operó debajo de los edificios



Otras empresas afectadas fueron, la Raytheon

Descontaminación de suelos
Técnicas físicas y químicas. SVE

Caso práctico 1. Fairchil

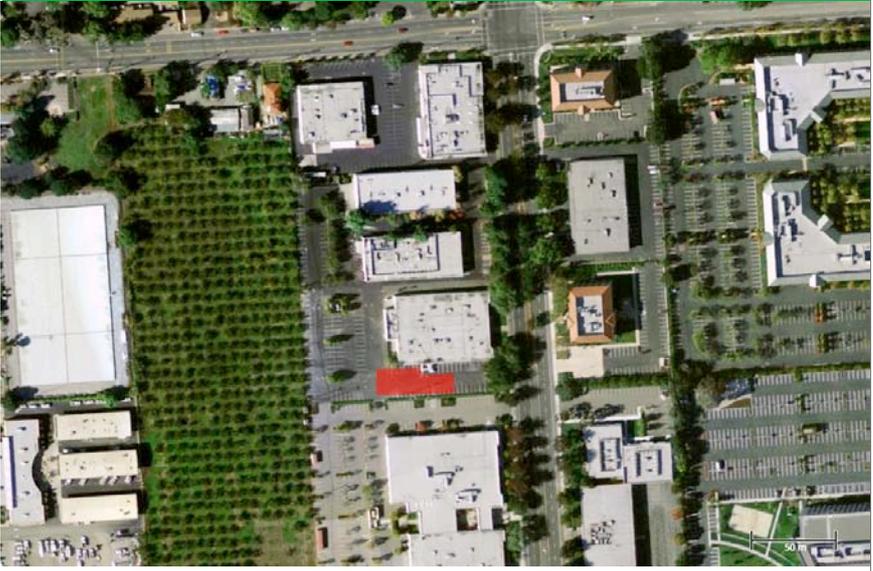


Parte suroeste demolición de dos edificios
Mancha central remediada por SVE con muchos pozos debajo de los edificios
SVE con 135 pozos, 1.400 kg de VOCs extraídos. Tiempo, 4 años.

Una gran parte del sistema SVE operó debajo de los edificios

Descontaminación de suelos
Técnicas físicas y químicas. SVE

Caso práctico 1. Fairchild



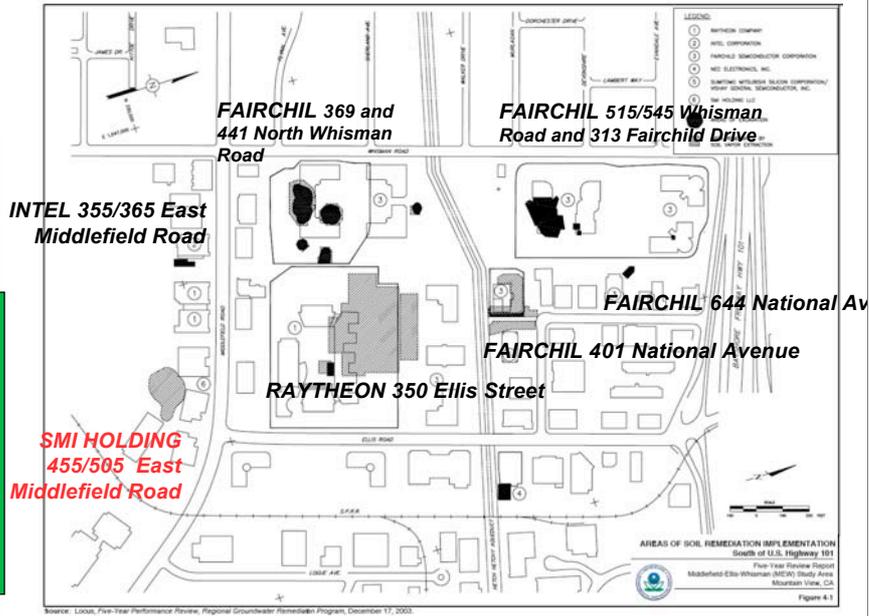
8 m de suelo excavado y aireado.

Suelo excavado y aireado junto en la fábrica Intel



Descontaminación de suelos
Técnicas físicas y químicas. SVE

Caso práctico 1. Fairchild





Caso práctico 1. Fairchil

*Descontaminación de suelos
Técnicas físicas y químicas. SVE*

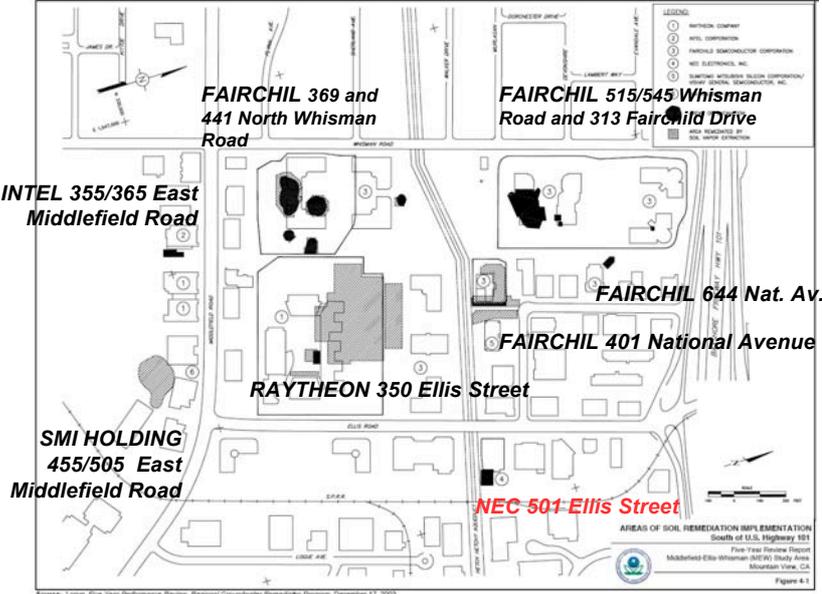


SVE. 8 pozos verticales (a 6 m de prof.) y uno horizontal (a 1,5 m).
Inyección de aire (5 pozos). 80 kg de VOC removidos.



Descontaminación de suelos
Técnicas físicas y químicas. SVE

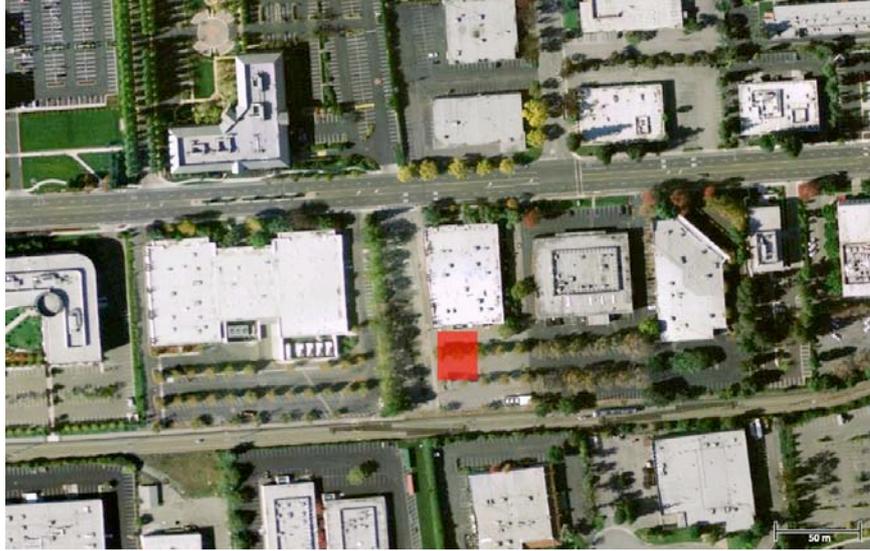
Caso práctico 1. Fairchil





Caso práctico 1. Fairchil

*Descontaminación de suelos
Técnicas físicas y químicas. SVE*



Excavación y aireación de todo el suelo contaminado



Como resultado de las labores de remediación, que implicaron la demolición de muchos edificios, la zona sufrió una profunda transformación.

*Descontaminación de suelos
Técnicas físicas y químicas. SVE*

Caso práctico 1. Fairchil



1ª Fase. Suelo superficial. 2 m. Excavación, vertedero, 2.600m³.
2ª Fase. Subsuelo. > 2 m. SVE. 32 pozos. Distancia pozos 20 m.
Depuración de los gases arrastrados mediante filtros de carbón. 10 meses.

Vamos a estudiar con algo más de detalle lo que ocurrió en esta zona de Fairchil 369 que fue uno de los sitios de más alta contaminación.



Situación inicial

Caso práctico 1. Fairchild

Localización.

Industria Fairchild Semiconductor Corporation, Fábrica de Mountain View. San José, California (USA).

Contaminantes.

TCA, DCE, IPA, xilenos, acetonas, Freon-113, y PCE.

El TCA se encontró en concentraciones tan altas como 3.530 mg/kg y el xileno alcanzó los 941 mg/kg. La cantidad máxima de todos los disolventes (incluyendo TCA, 1,1-DCE, IPA, xilenos, acetona, Freon-113, y PCE) fue de 4.500 mg/kg.

Tricloroetileno (TCE),

Valores máximos admitidos por la legislación del Estado de California: 1 mg/kg de TCA, DCE, xileno, Freon-113, y PCE.

1,1,1- tricloroetano (TCA),

triclorotrifluoroetano (Freon-113),

1,1-dicloroetileno (1,1-DCE),

1,2-dicloroetileno (1,2-DCE)

alcohol isopropílico (IPA)

tetracloroetileno (PCE)



Tratamiento

Caso práctico 1. Fairchil

Técnica.

1ª Fase. Excavación y aireación del suelo superficial.

2ª Fase. Arrastre de vapores in situ mediante vacío (SVE) y filtros de carbón activo para depurar los gases extraídos.

Procedimiento. Se excavaron 39 pozos de extracción verticales. A veces con inyección de aire en el suelo no contaminado de los bordes.



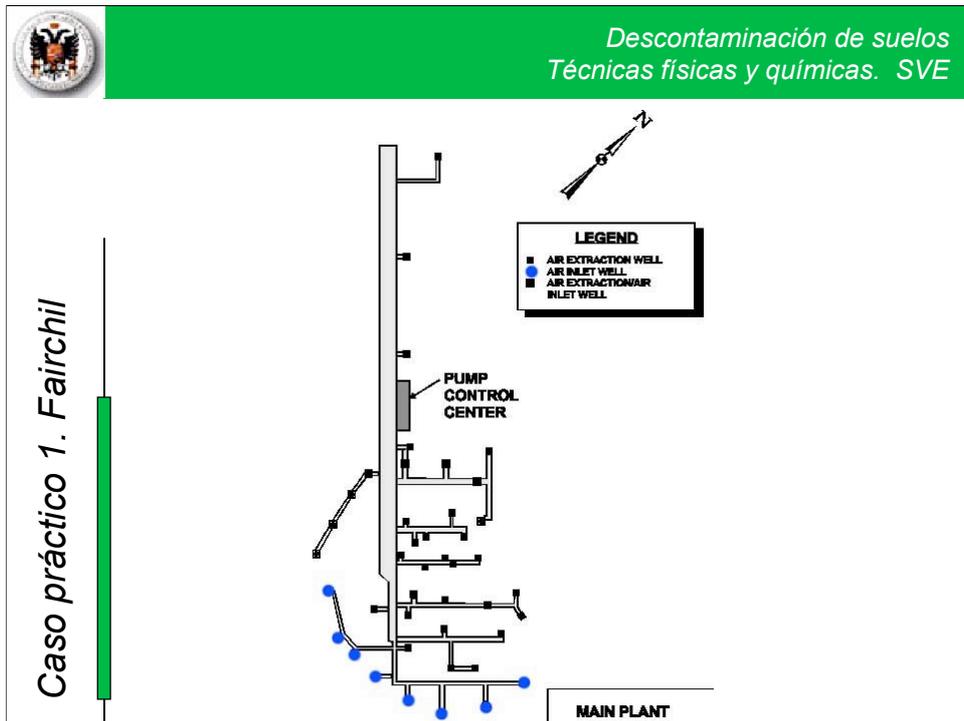
Caso práctico 1. Fairchild



EPA, Agency Region 9, September, 2004

Fairchild, 369 North Whisman Road, Mountain View, CA
Exterior of treatment system, showing the former air stripper

Pozo de inyección de aire que se conserva hoy día en la zona



Plano de distribución de los pozos de extracción (pozos de vacío; 39 en total) y de inyección de aire (7).

Área de influencia de los pozos del orden de 12 metros



Tratamiento

Técnica

El sistema de vacío operó en tres fases.

En una primera (20 abril 1987) el vacío fue de 63 cm de Hg y un flujo de gases de 50 scfm

En la segunda (junio 16) el vacío se rebajó a 23 cm de Hg y un flujo de 175 a 264 scfm.

En la tercera fase (13 julio) el vacío fue de 37 cm Hg y un flujo de 320 scfm

El vapor extraído del suelo se pasó por un separador gas/líquido. Los gases y los líquidos se trataron de manera similar pero por separado.

Al final se pasaron por una unidad de adsorción por carbón

Caso práctico 1. Fairchil

scfm, standard cubic feet per minute; 1 scf = 28,3 litros; 37 scf = 1.000 litros; 50 scf = 1.400 litros; 175 scf = 5.000 litros ; 264 scf = 7.500 litros; 320 scf = 9.000 litros.

El compresor trabajo a 2.500 rpm.



Caso práctico 1. Fairchild

Fairchild, 369 North Whisman Road, Mountain View, CA



EPA, Agency Region 9, September, 2004

One of three 5,000-pound liquid-phase granular activated carbon units and secondary containment.

Para la depuración de los vapores extraídos se utilizaron 5 unidades de carbón activo con una capacidad de 1.300 kg. Los gases se hicieron pasar a través de dos tanques en paralelo, después pasaron a otros dos depósitos y el proceso terminó en un quinto tanque.



Tratamiento

Caso práctico 1. Fairchil

Técnica.

el proceso de depuración de los gases terminó en una unidad de oxidación catalítica en donde se destruyó la práctica totalidad de los contaminantes.

El SVE operaba continuamente durante cinco días a la semana, en total 427 días. El vacío de los pozos se mantuvo por debajo de los 38 cm de Hg.

El compresor trabajo a 2.500 rpm.



Tratamiento

Caso práctico 1. Fairchil

Características del suelo. Arcillo limoso

Total de suelo tratado. 32.100 m³, aprox.

Duración. Enero de 1989 a Abril de 1990: 16 meses.

Costes. 3.900.000 \$.

A un coste unitario de 122 \$/m³ de suelo tratado.



Resultado final

Caso práctico 1. Fairchil

Resultados.

Extraídos 7.300 kg de contaminantes.

Objetivos (según Estado de California):

<1 mg/kg de TCA, DCE, xileno, Freon-113, y PCE.

Se buscó no superar los máximos admitidos por la legislación del Estado de California

tricloroetano (TCA),
triclorotrifluoroetano (Freon-113),
dicloroetileno (DCE),
tetracloroetileno (PCE)



Descontaminación de suelos Técnicas físicas y químicas. SVE

Caso práctico 1. Fairchild

Table 5. Comparison of Pre-Remediation and July 1989 Soil Boring Analysis

Soil Boring Number	TCA (mg/kg)		DCE (mg/kg)		Xylenes (mg/kg)		Acetone (mg/kg)		IPA (mg/kg)		Freon-113 (mg/kg)		PCE (mg/kg)	
	Pre-remediatio	07/89	Pre-remediatio	07/89	Pre-remediatio	07/89	Pre-remediatio	07/89	Pre-remediatio	07/89	Pre-remediatio	07/89	Pre-remediatio	07/89
SB-271	3530	416	16.6	2.2	941	462	18	281	ND	134	ND	ND	ND	4.1
SB-272	40.6	79	3.4	2.5	19.2	156	ND	1.5	ND	0.9	ND	ND	ND	1.2
SB-273	266	37.3	12.5	1.5	189	85.6	7.7	3.5	0.02	1.8	ND	ND	2.2	0.5
SB-274	12.2	7.8	1.6	0.3	4.8	5.5	7.6	1.9	ND	ND	NA	ND	ND	0.04
SB-275	6.4	5.5	0.5	1.5	ND	1.2	ND	2.9	ND	0.4	ND	ND	ND	ND
SB-276	1.1	0.1	0.05	0.01	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

ND - Not detected

NA - Not analyzed

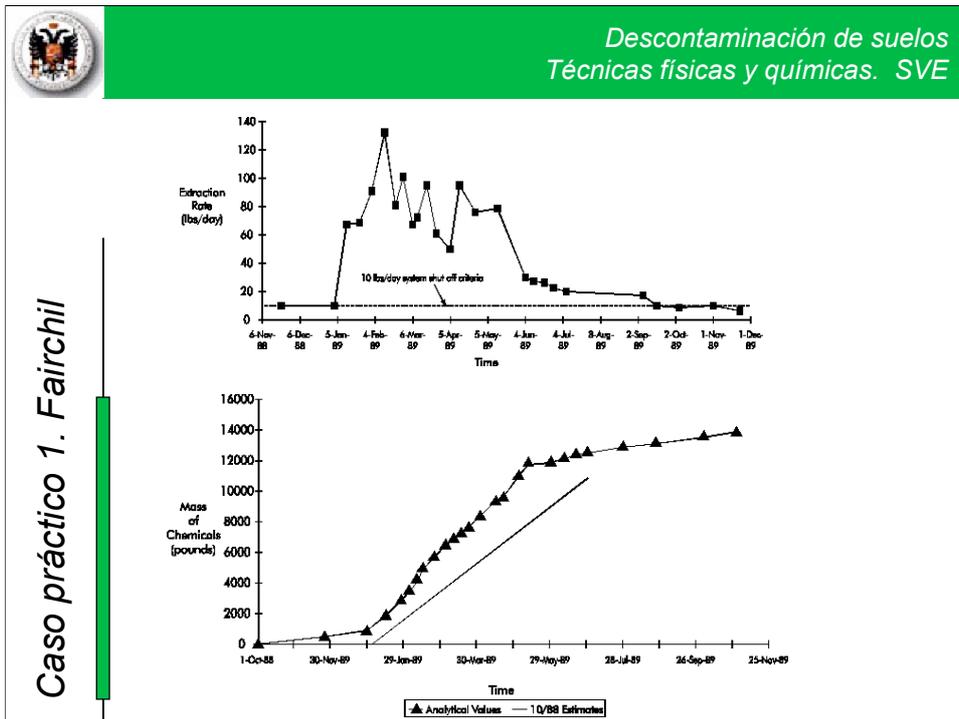
Pre-remediation samples collected April - June 1987.

Para evaluar la efectividad del tratamiento, a los siete meses de tratamiento (julio 1989) se tomaron unas muestras de suelo y se compararon con las que se habían tomado antes comenzar el tratamiento (abril a junio de 1987).

Las muestras se tomaron en puntos con distinto grado de contaminación (el 271 se tomó en la zona de máxima concentración y la 276 en el sitio menos contaminado).

En la tabla se pone de manifiesto un fuerte caída en la concentración de la mayoría de los contaminantes; no obstante para algunas contaminantes en algunas muestras se produjeron aumentos (como es la acetona en las muestras 271 y 275, el TCA en la muestra 272, el xileno en 272 y 274, IPA en 273 y 275, y el PCE en 271 y 272).

El tratamiento SVE se mantuvo funcionando hasta nueve meses después (abril de 1990).



La gráfica superior pone de manifiesto como el sistema SVE extrae grandes cantidades en los primeros meses (unos cuatro meses) para bajar muchísimo las extracciones en el último periodo.

La gráfica de abajo muestra la extracción en forma acumulativa.

Los resultados indican que el sistema SVE removió aproximadamente 16.000 libras (7.200kg) de VOCs durante los 16 meses de operación.

Se buscaba que el sistema arrastrara un máximo de 10 lbs/día y efectivamente a los 16 meses la extracción fue de 3,6 lbs/día. La extracción bajó desde un máximo los primeros días de 130 lbs/día a menos de 4 lbs/día. Por razones de seguridad el sistema se mantuvo funcionando durante 8 meses después de que se alcanzara las 10 lbs/día.



Descontaminación de suelos
Técnicas físicas y químicas. SVE

Table A-3. Soil Matrix Analysis Results from the Fairchild Semiconductor Site
Treatability Study

Soil Boring Number*	Sample Depth (ft)	1,1,1-TCA (mg/kg)	Xylene (mg/kg)	Acetone (mg/kg)	IPA (mg/kg)	Freon-113 (mg/kg)	1,1-DCE (mg/kg)	PCE (mg/kg)							
SB-200/ SB-226	9.3-9.7	ND	0.36	8.7	6.1	ND	ND	ND							
	19.4-19.7	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND							
	29.4-29.7	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND							
	Pre-Test 39.7-40.0	0.14	ND	41.0	1.8	570	130	410	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
	49.7-50.0	1.7	0.52	4.6	1.4	9.7	ND	3.8	ND	ND	ND	0.17	ND	ND	ND
	Post-Test 55.30	13	7.3	3.7	2	9.4	6.4	2	ND	ND	ND	0.88	0.23	ND	ND
	58.0-58.3	50.00	35	6.30	2.2	12.00	15	6.90	ND	ND	ND	5.70	2.80	ND	ND
	63.0-63.3	280.00	30	500.00	13	ND	ND	ND	ND	ND	ND	17.00	3.20	2.9	ND
	69.7-70.0	0.28	3.4	0.35	2.1	ND	2	ND	ND	ND	ND	ND	0.19	ND	ND

Caso práctico 1. Fairchild

Efectividad de la limpieza

39.7-40.0	68.6%	95.6%	77.2%	
49.7-50.0	43.8%	65.2%		
55.3	30.0%	45.9%	31.9%	73.9%
58.0-58.3	89.3%	65.1%		50.9%
63.0-63.3		97.4%		81.2%
69.7-70.0				

En esta tabla se reproducen los valores de las concentraciones de muestras de suelo antes y después del tratamiento.

En la mayoría de las muestras, todos los contaminantes muestran una importante caída de sus concentraciones con el tratamiento.

La eficacia es muy variable va del 97 al 30%, los valores más altos se consiguen para el PCE y el xileno, mientras que la menor eficacia se presenta para algunas muestras en el TCA y acetona.



Caso práctico 1. Fairchild

Table 4. Effect of Shutting Off Extraction Wells [13]

Extraction Well No.	VOC Concentration at Shutoff (ppmv)	Concentration Following Shutdown Period (ppmv)		
		2 Weeks	4 Weeks	6 Weeks
AE-9A	23.2	17.9	NA	NA
AE-13A	744.3	523.1	NA	NA
AE-14A	627.5	363.0	NA	NA
AE-16A	14.1	13.7	NA	NA
AE-7A	64.5	NA	53.0	NA
AE-15A	27.5	NA	11.6	NA
AE-20(A)	5.7	NA	NA	1.6

Por último, para valorar la estabilidad del suelo limpiado, se midieron las concentraciones de diversos pozos a las dos, cuatro y seis semanas de parar el sistema SVE. Los resultados obtenidos se muestran en esta tabla y se puede comprobar como a los seis meses no se detectó presencia de contaminantes en el gas de seis de los siete pozos y en el séptimo aparecían en concentraciones mínimas.