

INTI

Análisis de presencia de bromo (Br) en residuos plásticos por FRX

16 de Octubre 2026
Ciudad de Mendoza



¿Quiénes somos?

El INTI se creó en 1957 como respuesta al interés de que la Argentina contara con un instituto de investigaciones aplicadas a la industria.

Hoy apuntamos a contribuir al desarrollo de la industria y la sociedad como referente tecnológico mediante la innovación, la optimización de la calidad de los productos, la eficiencia de los procesos productivos y el cuidado del medio ambiente.



Contamos con una red de centros tecnológicos de investigación y desarrollo a través de 66 sedes repartidas en todo el país especializados en cada sector productivo



PTM Buenos Aires

**Lab. de Rayos X
Depto de Compuestos
y Productos
Inorgánicos
Química y Ambiente**



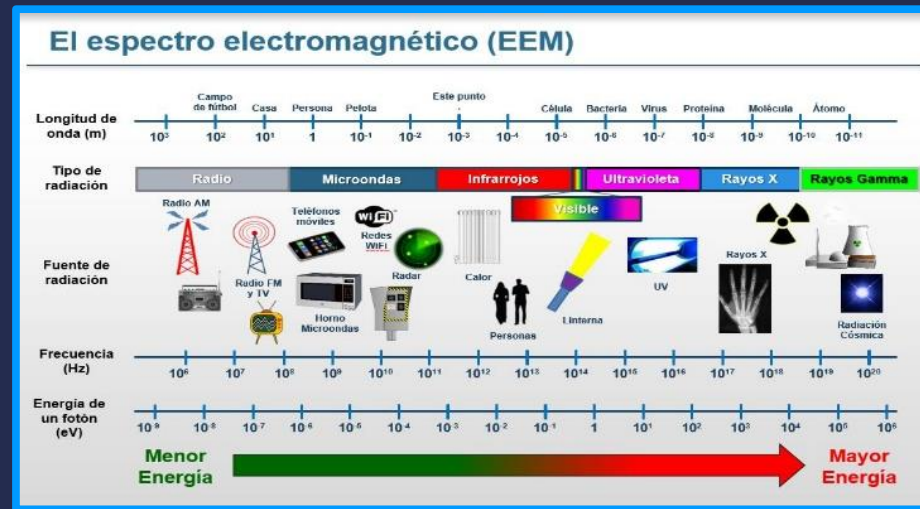
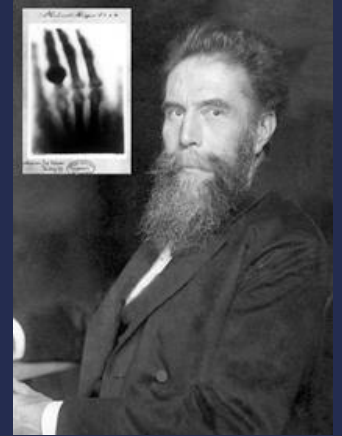
Referentes en aplicaciones por técnicas de Rayos X

- Integrantes del Consejo Asesor del Sistema Nacional de Rayos X (MinCyT)
- Mesas de asbesto (Aduana, SRT, Ambiente, Reglamentos técnicos)
- Mesa de neumoconiosis ocupacional (sílice cristalina en ambiente laboral, asbesto, otras sustancias respirables) (SRT)
- Farmacopea Argentina, análisis por DRX
- Servicios para Aduana de Buenos Aires (ARCA)
- Asistencia como evaluadores en licitaciones de compra de equipamiento de Rayos X de organismos públicos

¿Qué son los rayos x?

Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923), científico alemán de la Universidad de Würzburg, descubrió en 1895 una radiación de origen desconocida, de ahí el nombre de rayos X

Los Rayos X son ondas electromagnéticas con longitudes de onda entre $0,01 \text{ \AA}$ y $102 \text{ \AA}$ (frecuencia comprendida entre 10^{16} y 10^{20} Hz).



1 mm = 1.000 micrómetro

1 micrómetro = 10.000 $\text{\AA}$



Pero los Rayos X adquirieron su mayor fama cuando Marie Curie, durante la Primera Guerra Mundial (1914-1918), inventó la radiografía móvil. Las unidades que terminaron siendo bautizadas las “Petit Curie” (“Pequeñas Curie”) consistían en vehículos equipados con un equipo de rayos X y una sala oscura para revelado. Marie era la jefa del Servicio de Radiología de la Cruz Roja Francesa. Asistida desde el principio por su hija Irene de 18 años y un médico militar. Así entran los Rayos X en el diagnóstico médico, Gracias Marie!



¿Qué rayos hacemos?

Fluorescencia de Rayos X

análisis elemental



Na = 39 %

Cl = 61 %

Difracción de Rayos X

estado de agregación - cristalinidad-

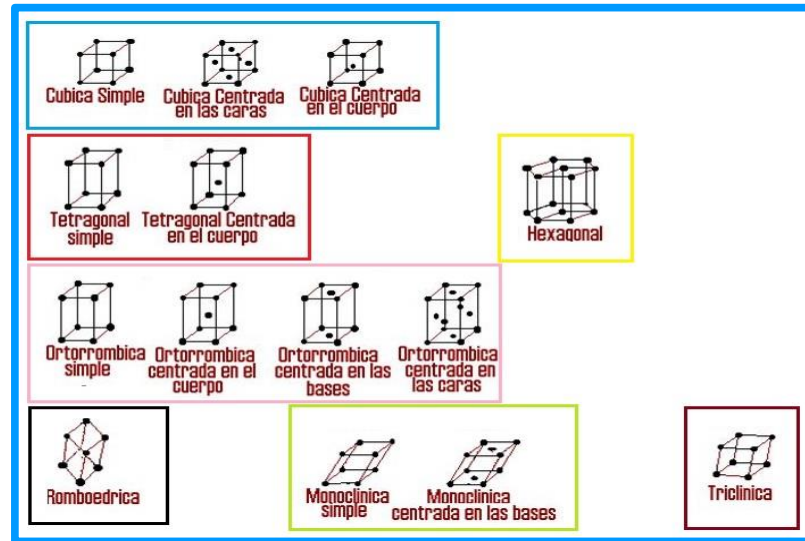


NaCl
(halita)

DRX - AERIS Research 2023 (PANalytical)

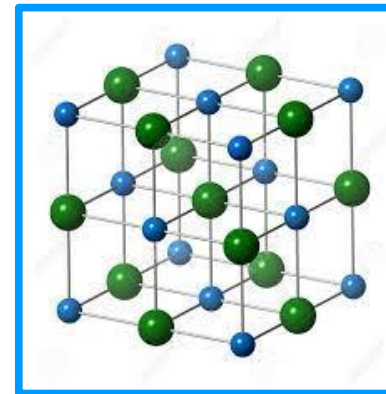
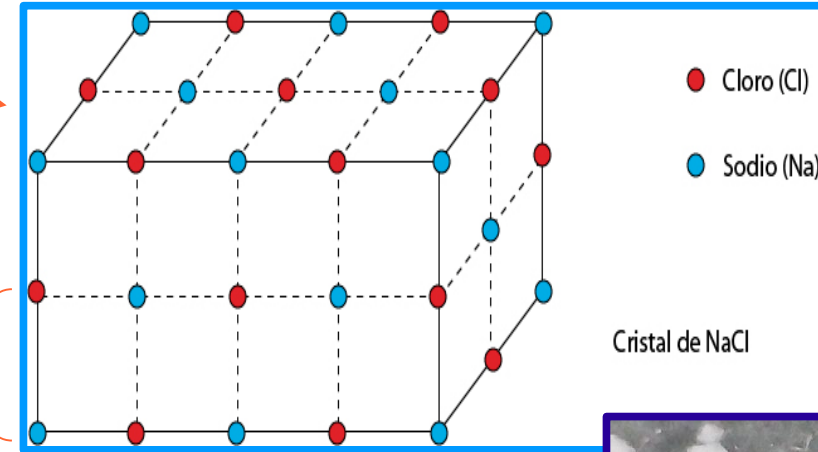


¿Qué es una estructura cristalina?

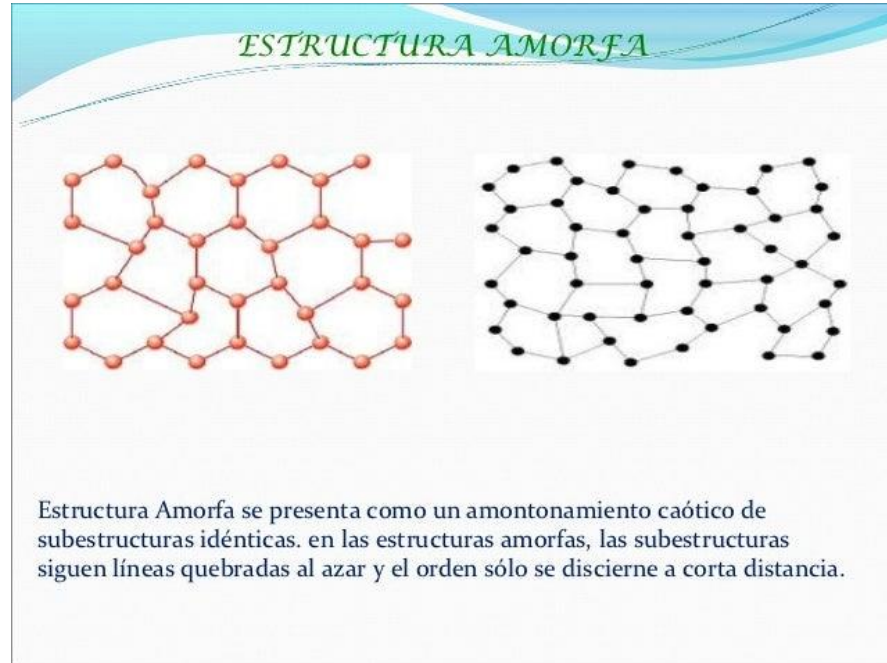


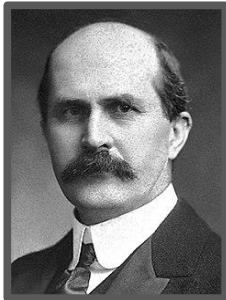
Oh, que plano !

¡y que d !



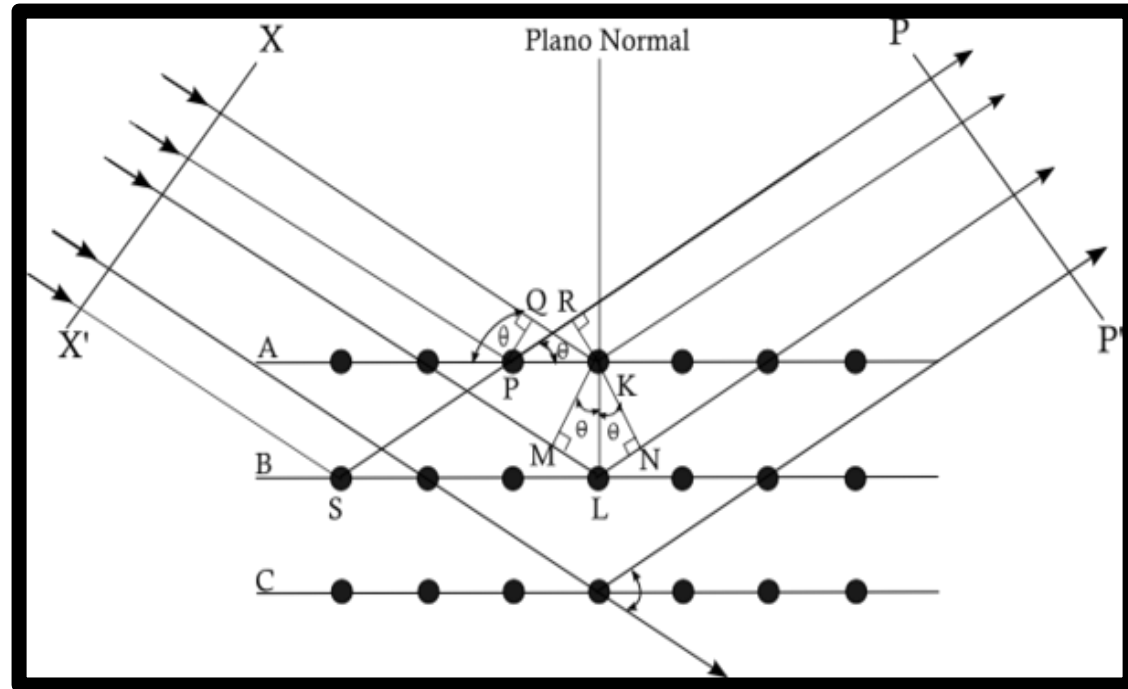
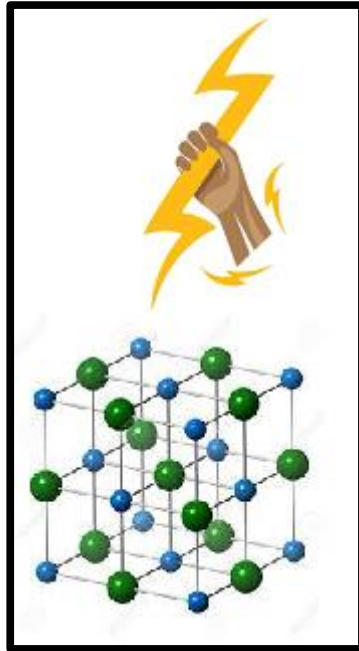
Lo contrario a cristalino es amorfo





William L. Bragg

Bragg



$$2d \sin \theta = n \lambda$$

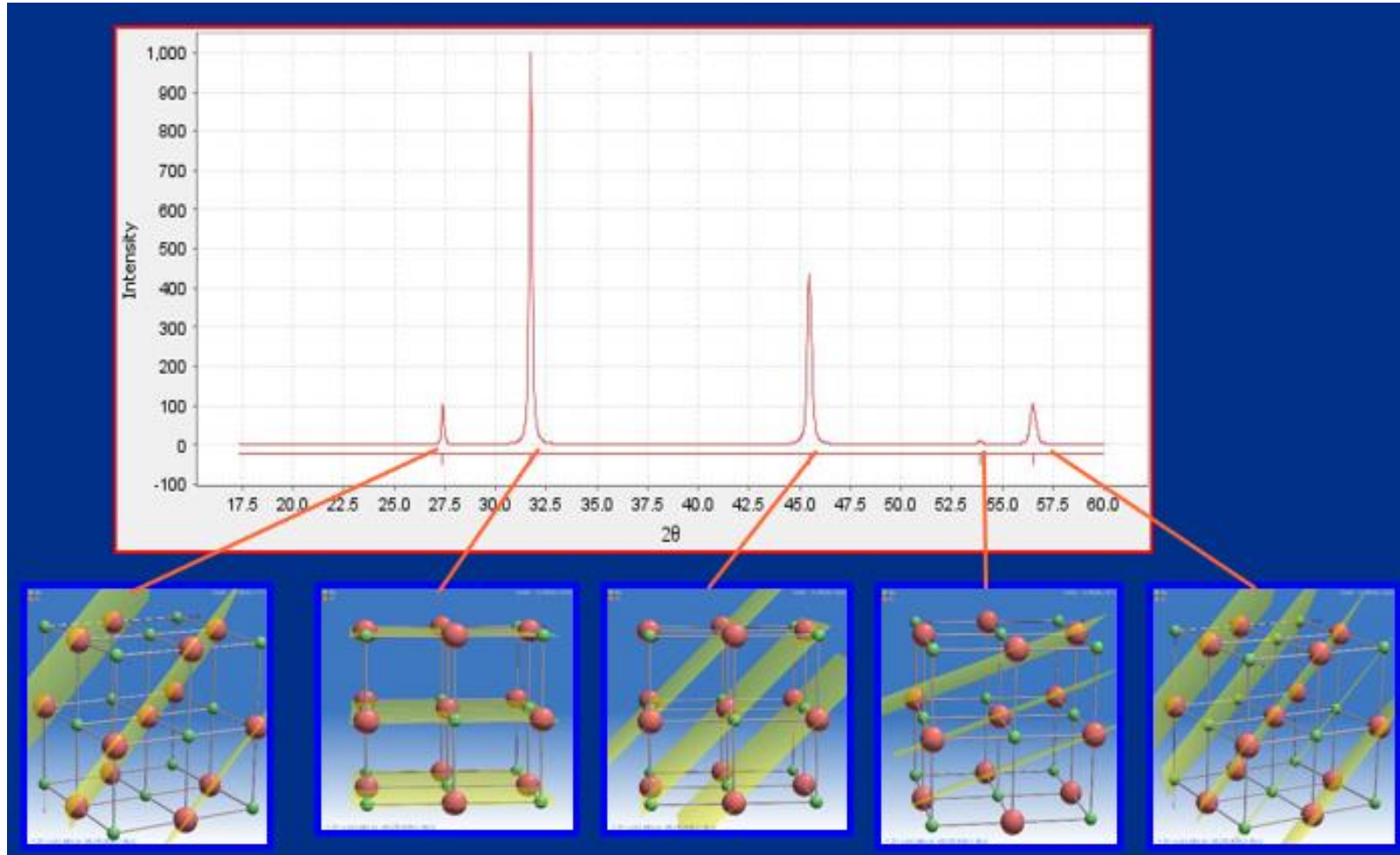
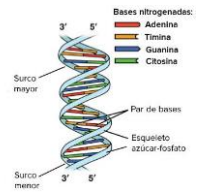
Patrón de difracción

$$2d \sin\theta = n\lambda$$

Si conocemos el ángulo θ theta y la longitud de onda del haz incidente (λ lambda), podemos despejar d (distancia interplanar) para descubrir qué tan separados están los átomos por dentro y dibujar la estructura exacta del material.

Así es como los científicos descubrieron la estructura en doble hélice del ADN.

Rosalinda Franklin



Alcance y principales líneas de acción del Laboratorio de Rayos X - INTI

Muestras DRX

Inorgánicas:

- Incrustaciones
- Material de construcción
- Metales
- Carga inorgánica en plásticos y cauchos
- Sílice cristalina en ambiente laboral
- Material de implantes dentales
- Asbesto

Orgánicas:

- Fármacos
- Polímeros

Arqueometría

Y cualquier cosa “difractable”...

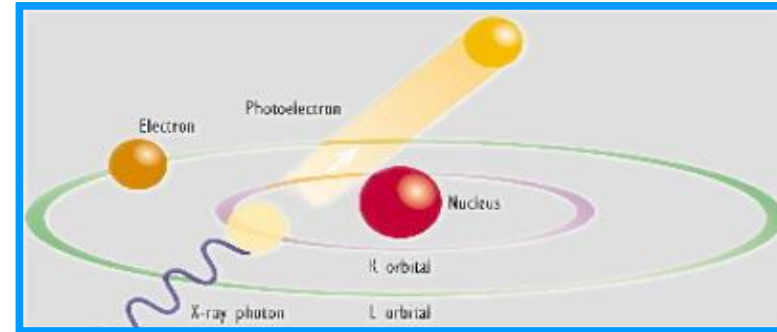


FRX - Bruker S8 Tiger 2024

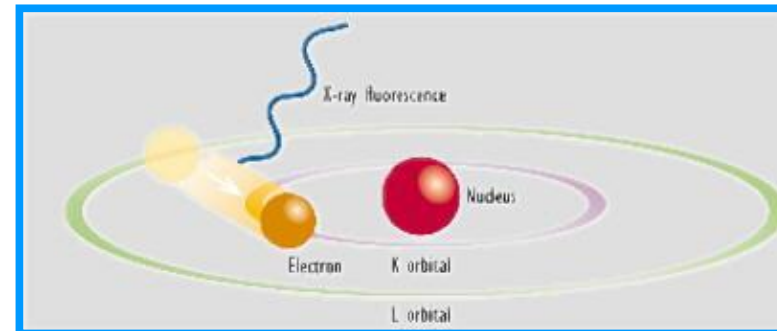


¿Cómo funciona?

El tubo de Rh emite un haz primario de rayos X contra la muestra. Los fotones primarios arrancan electrones de las capas internas de los átomos presentes en el material.

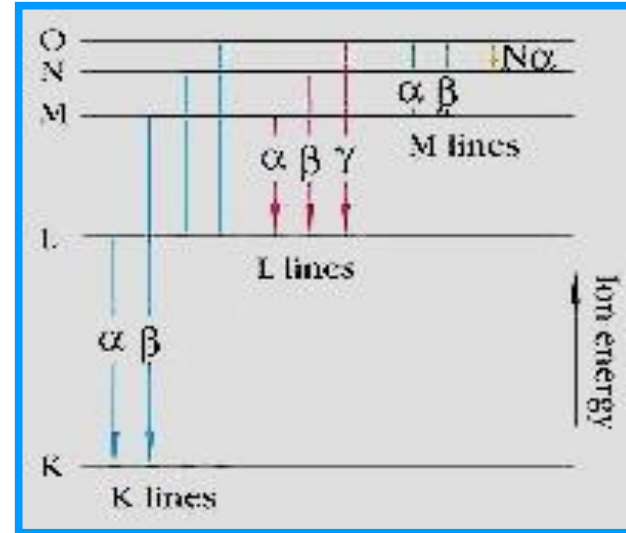


Los e- de capas externas caen a ocupar los huecos libres, liberando el exceso de energía en forma de fotones de rayos X secundarios (fluorescencia).



¿Cómo funciona?

El detector recibe esos fotones secundarios, mide su energía exacta (que identifica al elemento) y la cantidad de fotones recibidos (que determina la concentración), permitiendo al software procesar el espectro en tiempo real mediante los algoritmos de Parámetros Fundamentales.



1
↓

1
H
1.00794

2
↓

2
He
4.002602

3
↓

3
Li
6.941

4
↓

4
Be
9.012182

11
↓

11
Na
22.98976928

12
↓

12
Mg
24.304

19
↓

19
K
39.0983

20
↓

20
Ca
40.078

37
↓

37
Rb
85.4678

38
↓

38
Sr
87.62

55
↓

55
Cs
132.90545196

56
↓

56
Ba
137.327

87
↓

87
Fr
223

88
↓

88
Ra
226

3
↓

3
B
10.811

4
↓

4
C
12.011

5
↓

5
N
14.00644

6
↓

6
O
15.999

7
↓

7
F
18.998403

8
↓

8
Ne
20.1797

13
↓

13
Al
26.9815386

14
↓

14
Si
28.08558

15
↓

15
P
30.973762

16
↓

16
S
32.06

17
↓

17
Cl
35.453

18
↓

18
Ar
39.9623831

29
↓

29
Cu
63.546

30
↓

30
Zn
65.38

31
↓

31
Ga
69.723

32
↓

32
Ge
72.64

33
↓

33
As
74.9216

34
↓

34
Se
78.96

35
↓

35
Br
79.904

36
↓

36
Kr
83.798

47
↓

47
Ag
107.8682

48
↓

48
Cd
112.411

49
↓

49
In
114.818

50
↓

50
Sn
118.710

51
↓

51
Sb
121.757

52
↓

52
Te
127.6

53
↓

53
I
126.905

54
↓

54
Xe
131.29

79
↓

79
Au
196.966569

80
↓

80
Hg
200.59

81
↓

81
Tl
204.3833

82
↓

82
Pb
207.2

83
↓

83
Bi
208.9804

84
↓

84
Po
209

85
↓

85
At
210

86
↓

86
Rn
222

107
↓

107
Bh
187

108
↓

108
Hs
188.95946

109
↓

109
Mt
188.95946

110
↓

110
Ds
188.95946

111
↓

111
Rg
188.95946

112
↓

112
Cn
188.95946

113
↓

113
Nh
188.95946

114
↓

114
Fl
188.95946

115
↓

115
Mc
188.95946

116
↓

116
Lv
188.95946

117
↓

117
Ts
188.95946

118
↓

118
Og
188.95946

21
↓

21
Sc
44.955912

22
↓

22
Ti
47.867

23
↓

23
V
50.9415

24
↓

24
Cr
51.9961

25
↓

25
Mn
54.938045

26
↓

26
Fe
55.845

27
↓

27
Co
58.933195

28
↓

28
Ni
58.6934

29
↓

29
Cu
63.546

30
↓

30
Zn
65.38

31
↓

31
Ga
69.723

32
↓

32
Ge
72.64

33
↓

33
As
74.9216

34
↓

34
Se
78.96

35
↓

35
Br
79.904

36
↓

36
Kr
83.798

39
↓

39
Y
88.90584

40
↓

40
Zr
91.224

41
↓

41
Nb
92.90638

42
↓

42
Mo
95.94

43
↓

43
Tc
98

44
↓

44
Ru
101.07

45
↓

45
Rh
102.91

46
↓

46
Pd
106.42

47
↓

47
Ag
107.8682

48
↓

48
Cd
112.411

49
↓

49
In
114.818

50
↓

50
Sn
118.710

51
↓

51
Sb
121.757

52
↓

52
Te
127.6

53
↓

53
I
126.905

54
↓

54
Xe
131.29

72
↓

72
Hf
178.49

73
↓

73
Ta
180.94788

74
↓

74
W
183.84

75
↓

75
Re
186.207

76
↓

76
Os
190.23

77
↓

77
Ir
192.222

78
↓

78
Pt
195.084

79
↓

79
Au
196.966569

80
↓

80
Hg
200.59

81
↓

81
Tl
204.3833

82
↓

82
Pb
207.2

83
↓

83
Bi
208.9804

84
↓

84
Po
209

85
↓

85
At
210

86
↓

86
Rn
222

104
↓

104
Rf
181.0374

105
↓

105
Db
185

106
↓

106
Sg
186.9079

107
↓

107
Bh
187

108
↓

108
Hs
188.95946

109
↓

109
Mt
188.95946

110
↓

110
Ds
188.95946

111
↓

111
Rg
188.95946

112
↓

112
Cn
188.95946

113
↓

113
Nh
188.95946

114
↓

114
Fl
188.95946

115
↓

115
Mc
188.95946

116
↓

116
Lv
188.95946

117
↓

117
Ts
188.95946

118
↓

118
Og
188.95946

57
↓

57
La
138.90547

58
↓

58
Ce
140.12

59
↓

59
Pr
140.90765

60
↓

60
Nd
144.242

61
↓

61
Pm
144.9127

62
↓

62
Sm
150.36

63
↓

63
Eu
151.964

64
↓

64
Gd
157.254

65
↓

65
Tb
158.92534

66
↓

66
Dy
162.50014

67
↓

67
Ho
164.93032

68
↓

68
Er
167.259

69
↓

69
Tm
168.93032

70
↓

70
Yb
173.054

71
↓

71
Lu
174.967

89
↓

89
Ac
227

90
↓

90
Th
232.0377

91
↓

91
Pa
231.03688

92
↓

92
U
238.02891

93
↓

93
Np
237.04817

94
↓

94
Pu
244.0642

95
↓

95
Am
243.06138

96
↓

96
Cm
247.07035

97
↓

97
Bk
247.07035

98
↓

98
Cf
251.07958

99
↓

99
Es
252.0833

100
↓

100
Fm
257.10

101
↓

101
Md
258.10

102
↓

102
No
259.10

103
↓

103
Lr
262.10

57
↓

57
La
138.90547

58
↓

58
Ce
140.12

59
↓

59
Pr
140.90765

60
↓

60
Nd
144.242

61
↓

61
Pm
144.9127

62
↓

62
Sm
150.36

63
↓

63
Eu
151.964

64
↓

64
Gd
157.254

65
↓

65
Tb
158.92534

66
↓

66
Dy
162.50014

67
↓

67
Ho
164.93032

68
↓

68
Er
167.259

69
↓

69
Tm
168.93032

70
↓

70
Yb
173.054

71
↓

71
Lu
174.967

89
↓

89
Ac
227

90
↓

90
Th
232.0377

91
↓

91
Pa
231.03688

92
↓

92
U
238.02891

93
↓

93
Np
237.04817

94
↓

94
Pu
244.0642

95
↓

95
Am
243.06138

96
↓

96
Cm
247.07035

97
↓

97
Bk
247.07035

98
↓

98
Cf
251.07958

99
↓

99
Es
252.0833

100
↓

100
Fm
257.10

101
↓

101
Md
258.10

102
↓

102
No
259.10

103
↓

103
Lr
262.10

57
↓

57
La
138.90547

58
↓

58
Ce
140.12

59
↓

59
Pr
140.90765

60
↓

60
Nd
144.242

61
↓

61
Pm
144.9127

62
↓

62
Sm
150.36

63
↓

63
Eu
151.964

64
↓

64
Gd
157.254

65
↓

65
Tb
158.92534

66
↓

66
Dy
162.50014

67
↓

67
Ho
164.93032

68
↓

68
Er
167.259

69
↓

69
Tm
168.93032

70
↓

70
Yb
173.054

71
↓

71
Lu
174.967

89
↓

89
Ac
227

90
↓

90
Th
232.0377

91
↓

91
Pa
231.03688

92
↓

92
U
238.02891

93
↓

93
Np
237.04817

94
↓

94
Pu
244.0642

95
↓

95
Am
243.06138

96
↓

96
Cm
247.07035

97
↓

97
Bk
247.07035

98
↓

98
Cf
251.07958

99
↓

99
Es
252.0833

100
↓

100
Fm
257.10

101
↓

101
Md
258.10

102
↓

102
No
259.10

103
↓

103
Lr
262.10

57
↓

57
La
138.90547

58
↓

58
Ce
140.12

59
↓

59
Pr
140.90765

60
↓

60
Nd
144.242

61
↓

61
Pm
144.9127

62
↓

62
Sm
150.36

63
↓

63
Eu
151.964

64
↓

64
Gd
157.254

65
↓

65
Tb
158.92534

66
↓

66
Dy
162.50014

67
↓

67
Ho
164.93032

68
↓

68
Er
167.259

69
↓

69
Tm
168.93032

70
↓

70
Yb
173.054

71
↓

71
Lu
174.967

89
↓

89
Ac
227

90
↓

90
Th
232.0377

91
↓

91
Pa
231.03688

92
↓

92
U
238.02891

93
↓

93
Np
237.04817

94
↓

94
Pu
244.0642

95
↓

95
Am
243.06138

96
↓

96
Cm
247.07035

97
↓

97
Bk
247.07035

98
↓

98
Cf
251.07958

99
↓

99
Es
252.0833

100
↓

100
Fm
257.10

101
↓

101
Md
258.10

102
↓

102
No
259.10

103
↓

103
Lr
262.10

57
↓

57
La
138.90547

58
↓

58
Ce
140.12

59
↓

59
Pr
140.90765

60
↓

60
Nd
144.242

61
↓

61
Pm
144.9127

62
↓

62
Sm
150.36

63
↓

63
Eu
151.964

64
↓

64
Gd
157.254

65
↓

65
Tb
158.92534

66
↓

66
Dy
162.50014

67
↓

67
Ho
164.93032

68
↓

68
Er
167.259

69
↓

69
Tm
168.93032

70
↓

70
Yb
173.054

71
↓

71
Lu
174.967

89
↓

89
Ac
227

90
↓

90
Th
232.0377

91
↓

91
Pa
231.03688

92
↓

92
U
238.02891

93
↓

93
Np
237.04817

94
↓

94
Pu
244.0642

95
↓

95
Am
243.06138

96
↓

96
Cm
247.07035

97
↓

97
Bk
247.07035

98
↓

98
Cf
251.07958

99
↓

99
Es
252.0833

100
↓

100
Fm
257.10

101
↓

101
Md
258.10

102
↓

102
No
259.10

103
↓

103
Lr
262.10

57
↓

57
La
138.90547

58
↓

58
Ce
140.12

59
↓

59
Pr
140.90765

60
↓

60
Nd
144.242

61
↓

61
Pm
144.9127

62
↓

62
Sm
150.36

63
↓

63
Eu
151.964

64
↓

64
Gd
157.254

65
↓

65
Tb
158.92534

66
↓

66
Dy
162.50014

67
↓

67
Ho
164.93032

68
↓

68
Er
167.259

69
↓

69
Tm
168.93032

70
↓

70
Yb
173.054

71
↓

71
Lu
174.967

89
↓

89
Ac
227

90
↓

90
Th
232.0377

91
↓

91
Pa
231.03688

92
↓

92
U
238.02891

93
↓

93
Np
237.04817

94
↓

94
Pu
244.0642

95
↓

95
Am
243.06138

96
↓

96
Cm
247.07035

97
↓

97
Bk
247.07035

98
↓

98
Cf
251.07958

99
↓

99
Es
252.0833

100
↓

100
Fm
257.10

101
↓

101
Md
258.10

102
↓

102
No
259.10

103
↓

103
Lr
262.10

57
↓

57
La
138.90547

58
↓

58
Ce
140.12

59
↓

59
Pr
140.90765

60
↓

60
Nd
144.242

61
↓

61
Pm
144.9127

62
↓

62
Sm
150.36

63
↓

63
Eu
151.964

64
↓

64
Gd
157.254

65
↓

65
Tb
158.92534

66
↓

66
Dy
162.50014

67
↓

67
Ho
164.93032

68
↓

68
Er
167.259

69
↓

69
Tm
168.93032

70
↓

70
Yb
173.054

71
↓

71
Lu
174.967

89
↓

89
Ac
227

90
↓

90
Th
232.0377

91
↓

91
Pa
231.03688

92
↓

92
U
238.02891

93
↓

93
Np
237.04817

94
↓

94
Pu
244.0642

95
↓

95
Am
243.06138

96
↓

96
Cm
247.07035

97
↓

97
Bk
247.07035

98
↓

98
Cf
251.07958

99
↓

99
Es
252.0833

100
↓

100
Fm
257.10

101
↓

101
Md
258.10

102
↓

102
No
259.10

103
↓

103
Lr
262.10

57
↓

57
La
138.90547

58
↓

58
Ce
140.12

59
↓

59
Pr
140.90765

60
↓

60
Nd
144.242

61
↓

61
Pm
144.9127

62
↓

62
Sm
150.36

63
↓

63
Eu
151.964

64
↓

64
Gd
157.254

65
↓

65
Tb
158.92534

66
↓

66
Dy
162.50014

67
↓

67
Ho
164.93032

68
↓

68
Er
167.259

69
↓

69
Tm
168.93032

70
↓

70
Yb
173.054

71
↓

71
Lu
174.967

89
↓

89
Ac
227

90
↓

90
Th
232.0377

91
↓

91
Pa
231.03688

92
↓

92
U
238.02891

93
↓

93
Np
237.04817

94
↓

94
Pu
244.0642

95
↓

95
Am
243.06138

96
↓

96
Cm
247.07035

97
↓

97
Bk
247.07035

98
↓

98
Cf
251.07958

99
↓

99
Es
252.0833

100
↓

Alcance y principales líneas de acción del Laboratorio de Rayos X - INTI

Muestras FRX

Sólidos:

- SemiQ en sales inorgánicas, residuos para evaluar peligrosidad
- Cuantitativos mediante curvas de calibración (ej. Metales preciosos en catalizadores)
- Metales

Líquidos:

- S y Pb en combustibles
- Impurezas en solventes
- Pastas y geles



Normativa de la Unión Europea RoHS
(restricción sobre sustancias peligrosas en materiales eléctricos) Cd, Pb, Hg y Cr

Arqueometría

Y cualquier cosa fluoresceible...

RoHS (Restricción de sustancias peligrosas)

La directiva europea RoHS regula la fabricación de aparatos eléctricos y electrónicos restringiendo el uso de sustancias químicas nocivas y metales pesados —como **plomo, mercurio, cadmio y cromo hexavalente**— con el objetivo de proteger la salud pública y evitar la contaminación del suelo y el agua al desechar estos productos; en Argentina, laboratorios estatales de referencia como el INTI se encargan de realizar los ensayos cuantitativos mediante espectrometría para medir la concentración exacta de estos contaminantes en circuitos y plásticos. Primero se realiza un screening rápido de la presencia de estos elementos por FRX y en caso de aparecer se cuantifican por otras técnicas (AA, ICP).





¿Cuáles son nuestras
capacidades para aportar
soluciones integrales
a la determinación de Br?

Ventajas y aplicaciones de los análisis por FRX

Pistola SciAps X50

Breve descripción del equipo

Utiliza un tubo miniaturizado de alta potencia con ánodo de Rodio (Rh) operando típicamente hasta 50 kV (kilovoltios).

El rodio emite líneas características $K\alpha$ y $K\beta$ en la región de alta energía (aproximadamente 20,2 keV), lo que genera una corriente de radiación óptima para excitar con gran eficiencia los electrones de la capa K y L de elementos pesados como plomo (Pb), mercurio (Hg), cadmio (Cd), cromo (Cr), bromo (Br) y metales de transición.



¿Qué se puede medir con este equipo?

Elemento mínimo: Detecta elementos a partir del titanio (Ti, número atómico $Z=22$) en adelante dentro de la tabla periódica.

Elementos pesados y de transición: Mide todos los metales de transición y metales pesados como plomo (Pb), mercurio (Hg), cadmio (Cd), cromo (Cr), níquel (Ni), cobre (Cu), zinc (Zn), oro (Au), plata (Ag), entre otros.

Limitaciones de elementos livianos: Al ser un equipo con tubo de rayos X estándar y detector de SDD de entrada sin cámara de vacío ni purga de helio para ligeros, no detectan elementos livianos por debajo del titanio como magnesio (Mg), aluminio (Al), silicio (Si), fósforo (P), ni azufre

Tabla Periódica de los Elementos

Tipos de muestras compatibles

Permite analizar muestras en estado sólido sin necesidad de destrucción o preparación compleja.

- **Muestras electrónicas y plásticos:** Placas de circuito impreso (PCB), cables, soldaduras, conectores y plásticos para verificación de normas ambientales como RoHS.
- **Aleaciones metálicas y chatarra:** Aceros inoxidables, aceros al carbono, aleaciones de cobre/bronce/latón, superaleaciones y metales preciosos.
- **Geología y minería:** Rocas, minerales, menas y muestras de suelo previamente secadas y homogeneizadas.
- **Gemas y arqueometría:** Joyería, monedas, artefactos metálicos antiguos y pigmentos inorgánicos.

Análisis semicuantitativo general

El equipo cuenta con un modo de trabajo basado en parámetros fundamentales:

- **Sin necesidad de patrones específicos:** Este algoritmo matemático permite realizar un análisis screening o semicuantitativo automático de cualquier muestra desconocida sin necesidad de calibrarla previamente con un estándar idéntico.
- **Identificación del “mapa elemental”:** En pocos segundos la pistola lee el espectro completo, identifica que elementos (del Ti en adelante) están presentes en la matriz y calcula sus concentraciones relativas estimadas en porcentajes (%) o en partes por millón (ppm)
- **Verificación de éxito del análisis:** Para saber si la lectura fue adecuada, basta con revisar la suma total de concentraciones asignadas por el software y verificar que el error estadístico (σ) de cada elemento sea lo suficientemente bajo respecto al valor medido.

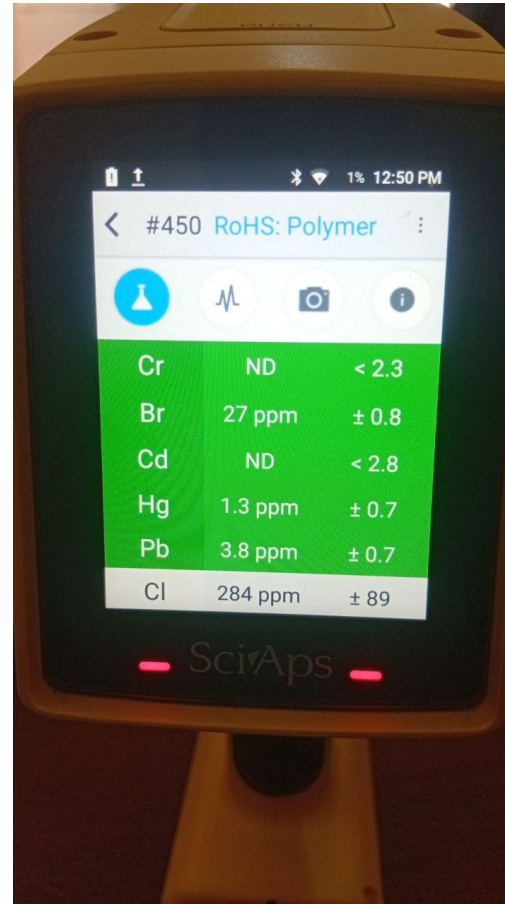
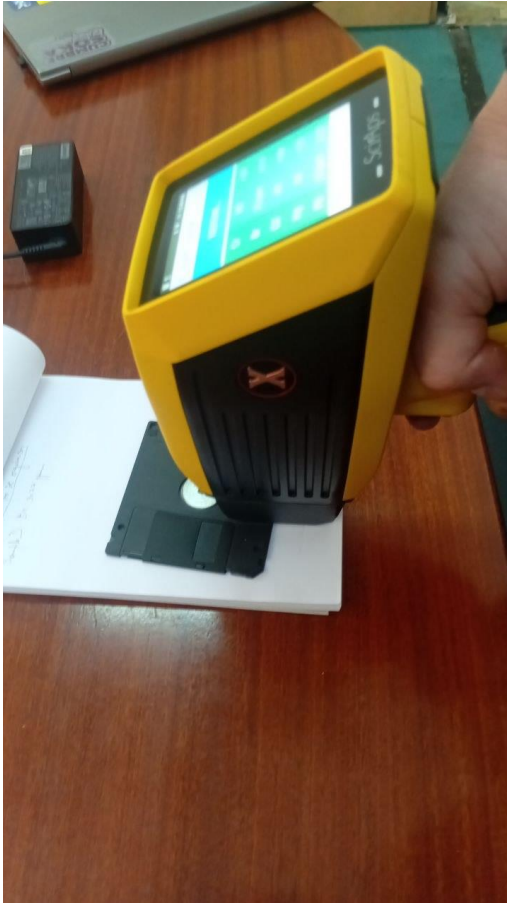
¿Qué estamos haciendo en este proyecto?

Actualmente estamos desarrollando una metodología para poder medir Br con la pistola X-50 para muestras de polímeros.

¿Por qué? Porque es una metodología rápida, in situ, que permite realizar un chequeo inicial (pasa o no pasa) sin necesidad de preparación de muestra.



Pruebas preliminares con la Pistola SciAps X-50





Seguridad radiológica (Ley 17.557)

En Mendoza: Ley provincial 9543 (regula la instalación, habilitación y control de seguridad, calidad y funcionamiento de los **dispositivos emisores de radiaciones ionizantes**)

Uso de dosimetría

Curso de radiofísica sanitaria

Habilitación

Límite permitido de exposición anual: 20 mSv

Cuidados

*Distancia

*Tiempo

*Blindaje



Servicios y capacidades del Laboratorio de Rayos X:

Seguridad radiológica: Asesoramiento y lineamientos sobre los cuidados básicos en la manipulación de fuentes de radiación.

Capacitación técnica: Entrenamiento especializado en el uso del analizador portátil por fluorescencia de rayos X (FRX), junto con la provisión de procedimientos normalizados de control y medición.

Muchas Gracias!



2005



2013



2026

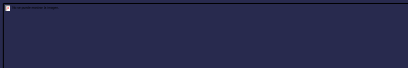
Muchas gracias

Lic. Sandra Amore

rayosx@inti.gob.ar

INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA INDUSTRIAL

Departamento de Compuestos y Productos Inorgánicos
Dirección Técnica de Servicios Tecnológicos y Analíticos.
Subgerencia Operativa de Química y Ambiente
Gerencia Operativa de servicios Industriales



| **protocolo@inti.gob.ar** | **www.inti.gob.ar**