



# *FISICO-QUIMICA METALURGICA*

*RECICLAJE, METALES PRECIOSOS Y OTROS*  
*Clase 01/01*

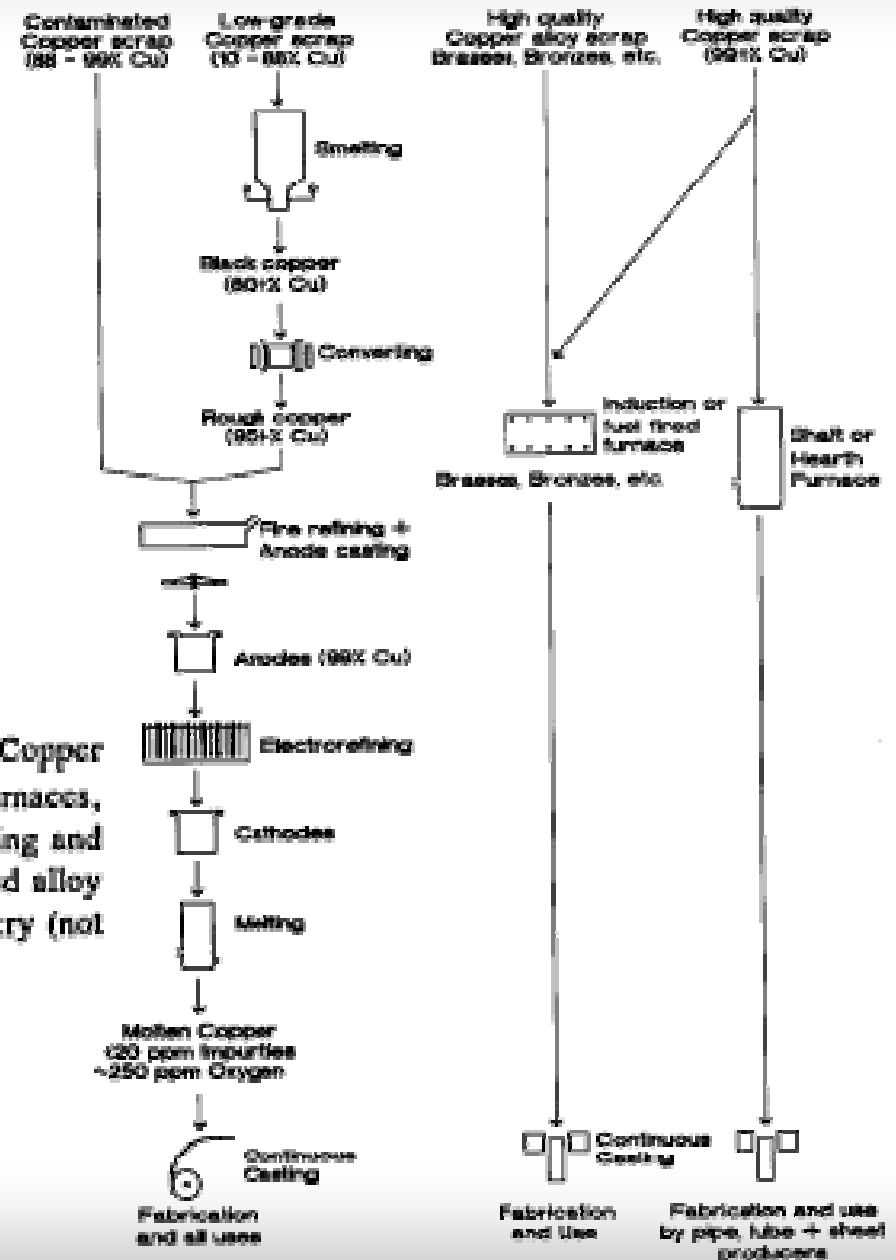
*Prof. Dr. Leandro Voisin A.*

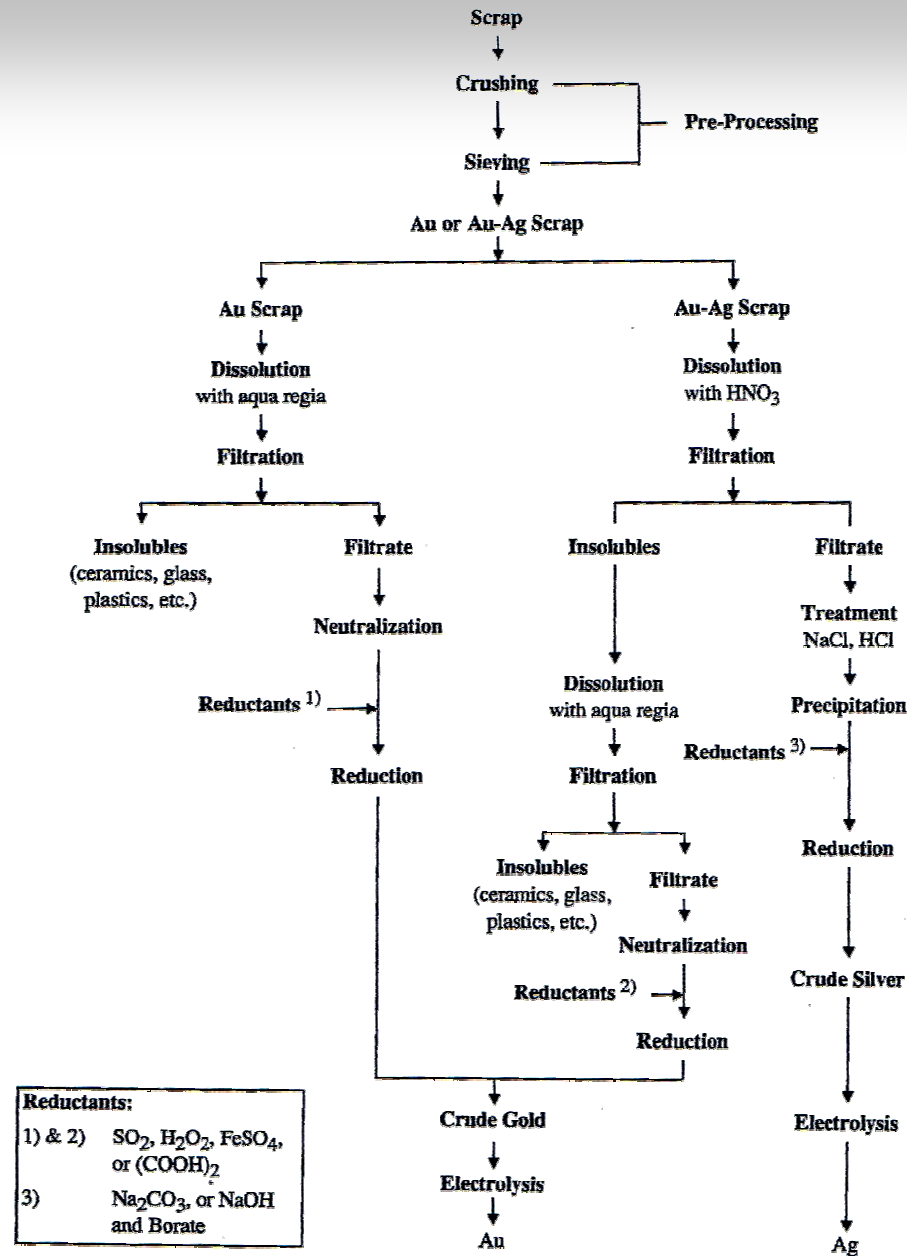
## ***PART IV***

*Reciclaje, co-productos, recuperación y refino de metales preciosos desde chatarras de metales bases*

## Producción de cobre a partir de reciclaje

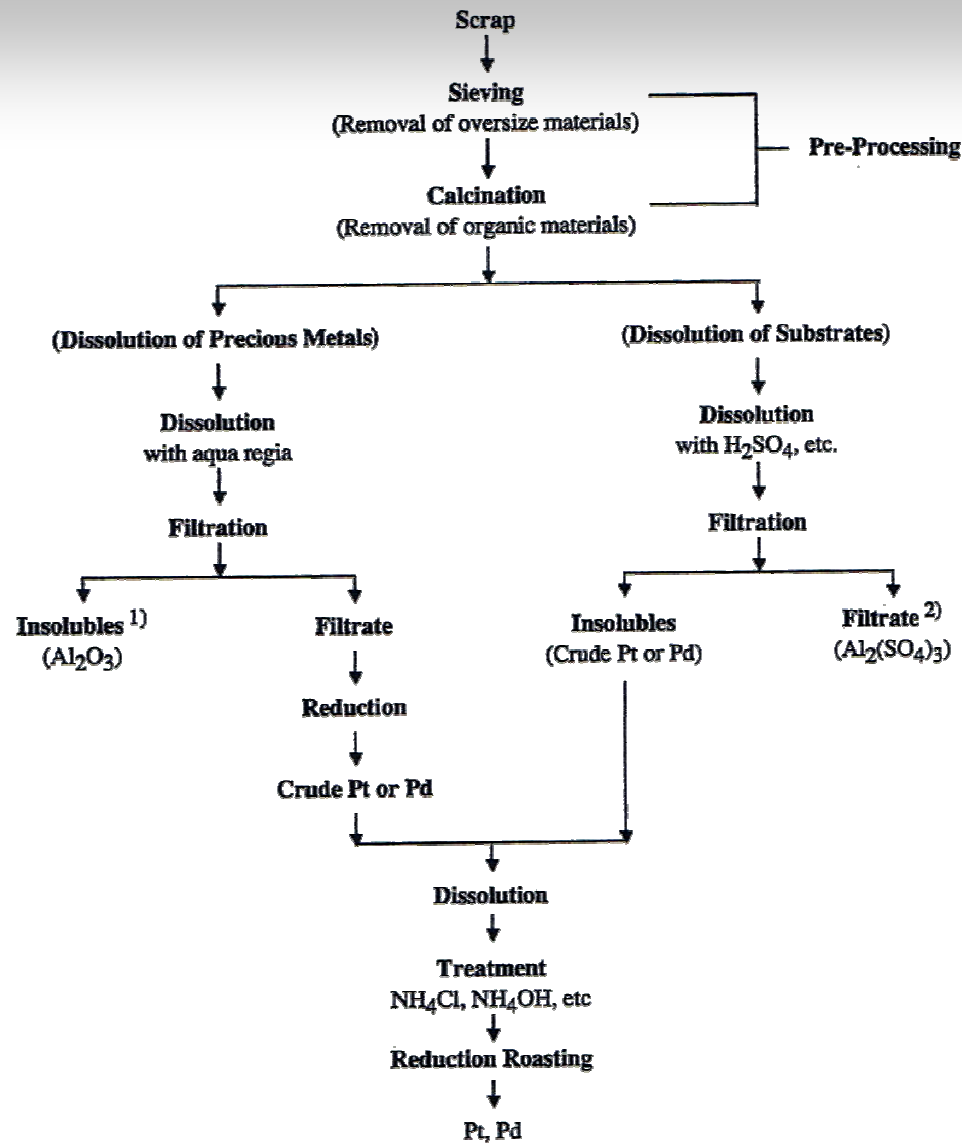
**FIG. 1.9. Flowsheet of Processes for Recovering Copper and Copper Alloys from Scrap.** Low-grade scrap is usually smelted in blast furnaces, but several other processes are used, e.g. top blown rotary smelting and electric furnace smelting (Metallgesellschaft, 1993). Contaminated alloy scrap is melted, slagged and cast as ingots for the foundry industry (not shown).





Proceso de reciclaje de PM desde chatarras electrónica industrial.

Reductores 1) y 2)  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{FeSO}_4$  o  $(\text{COOH})_2$  y 3)  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ó  $\text{NaOH}$  y Boro.



- 1) recycled and used as refractory materials  
 2) re-used for dissolved aluminum content

Proceso de reciclaje de PM desde chatarras de catalizadores.

1) Reciclado y utilizado como ladrillos refractarios 2) Reusado como aluminio.

*A generic name Precious Metals “PM” is given to gold, silver, and the six platinum group metals “PGM” (platinum, palladium, rhodium, iridium, osmium and ruthenium ). These metals have a long history and close relationship with mankind, and they have exerted considerable influence on the development of society because of their special characteristic*

# 元素周期表 Periodic Table of the Elements

|    |                                                                       |                                                                       |                                                                          |                                                                                       |                                                                      |                                                                        |                                                                            |                                                                       |                                                                       |                                                                        |                                                                    |                                                                            |                                                                           |                                                                         |                                                                              |                                                                          |                                                                               |                                                                              |                |  |                   |
|----|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|----------------|--|-------------------|
| 族  | 1 (Ia)                                                                | 2 (IIa)                                                               |                                                                          |                                                                                       |                                                                      |                                                                        |                                                                            |                                                                       |                                                                       |                                                                        |                                                                    |                                                                            | 13 (IIb)                                                                  | 14 (IVb)                                                                | 15 (Vb)                                                                      | 16 (VIb)                                                                 | 17 (VIIb)                                                                     | 18 (0)                                                                       |                |  |                   |
| 周期 | 1                                                                     | 2                                                                     | 3                                                                        | 4                                                                                     | 5                                                                    | 6                                                                      | 7                                                                          | 8                                                                     | 9                                                                     | 10                                                                     | 11                                                                 | 12                                                                         | 13                                                                        | 14                                                                      | 15                                                                           | 16                                                                       | 17                                                                            | 18                                                                           |                |  |                   |
|    | Hydrogen<br>水素<br>1 H<br>1.00794<br>0.0899<br>-252.87<br>0.1815       | 金属 Metals                                                             |                                                                          |                                                                                       |                                                                      |                                                                        |                                                                            |                                                                       |                                                                       |                                                                        |                                                                    |                                                                            |                                                                           | 半金属・半導体<br>Semi-Metals & Semi-Conductors                                |                                                                              |                                                                          |                                                                               |                                                                              | 非金属 Non-Metals |  | 希ガス<br>Rare Gases |
|    | Lithium<br>リチウム<br>3 Li<br>6.941<br>534<br>180.54<br>1333<br>84.7     | Beryllium<br>ベリリウム<br>4 Be<br>9.012182<br>0.0899<br>-252.87<br>0.1815 |                                                                          |                                                                                       |                                                                      |                                                                        |                                                                            |                                                                       |                                                                       |                                                                        |                                                                    |                                                                            | Boron<br>ホウ素<br>5 B<br>10.811<br>2340<br>2077<br>3570<br>27.0             | Carbon<br>炭素<br>6 C<br>12.0107<br>12.0107<br>3547 (ダイヤモンド)<br>3570<br>* | Nitrogen<br>窒素<br>7 N<br>14.0067<br>1220<br>12506<br>192.6<br>0.02598        | Oxygen<br>酸素<br>8 O<br>15.9994<br>1429<br>216.4<br>-182.96<br>0.02674    | Fluorine<br>フッ素<br>9 F<br>18.9984032<br>1696<br>219.62<br>-108.14<br>0.0279   | Neon<br>ネオン<br>10 Ne<br>20.1797<br>0.89664<br>246.67<br>-246.048<br>0.0493   |                |  |                   |
|    | Sodium<br>ナトリウム<br>11 Na<br>22.989770<br>971<br>97.81<br>1095<br>141  | Magnesium<br>マグネシウム<br>12 Mg<br>24.3050<br>1738<br>650<br>1095<br>156 |                                                                          |                                                                                       |                                                                      |                                                                        |                                                                            |                                                                       |                                                                       |                                                                        |                                                                    |                                                                            | Aluminum<br>アルミニウム<br>13 Al<br>26.981538<br>2988<br>960.37<br>2520<br>237 | Silicon<br>ケイ素<br>14 Si<br>28.0855<br>2359<br>1412<br>3366<br>148       | Phosphorus<br>リン<br>15 P<br>30.973761<br>1820<br>44.15<br>280<br>0.235       | Sulfur<br>硫黄<br>16 S<br>32.065<br>2070<br>112.8<br>444.674<br>0.269      | Chlorine<br>塩素<br>17 Cl<br>35.453<br>3214<br>100.98<br>34.05<br>0.0089        | Argon<br>アルゴン<br>18 Ar<br>39.948<br>7.864<br>-189.2<br>-185.86<br>0.0177     |                |  |                   |
|    | Potassium<br>カリウム<br>19 K<br>39.0983<br>862<br>63.65<br>765<br>102.4  | Calcium<br>カルシウム<br>20 Ca<br>40.078<br>1550<br>842<br>1503<br>200     | Scandium<br>スカンジウム<br>21 Sc<br>44.955910<br>2989<br>1539<br>2831<br>15.8 | Titanium<br>チタン<br>22 Ti<br>47.867<br>50.9415<br>4540<br>1666<br>3029<br>3420<br>21.9 | Vanadium<br>バナジウム<br>23 V<br>50.9415<br>6110<br>1917<br>3420<br>30.7 | Chromium<br>クロム<br>24 Cr<br>51.9961<br>7190<br>1857<br>2682<br>93.7    | Manganese<br>マンガン<br>25 Mn<br>54.938049<br>7440<br>1246<br>2062<br>7.82    | Iron<br>鉄<br>26 Fe<br>55.845<br>7440<br>1857<br>2682<br>93.7          | Cobalt<br>コバルト<br>27 Co<br>58.933200<br>7440<br>1857<br>2682<br>93.7  | Nickel<br>ニッケル<br>28 Ni<br>58.6934<br>8902<br>1455<br>2890<br>90.7     | Copper<br>銅<br>29 Cu<br>63.546<br>8960<br>1084.5<br>2571<br>401    | Zinc<br>亜鉛<br>30 Zn<br>65.39<br>9397<br>419.58<br>907<br>116               | Gallium<br>ガリウム<br>31 Ga<br>69.723<br>9397<br>23.78<br>2208<br>40.6       | Germanium<br>ゲルマニウム<br>32 Ge<br>72.64<br>9397<br>937.4<br>2834<br>59.9  | Arsenic<br>ヒ素<br>33 As<br>74.92160<br>9397<br>817<br>2834<br>50.0            | Selenium<br>セレン<br>34 Se<br>78.96<br>9397<br>613<br>204                  | Bromine<br>臭素<br>35 Br<br>79.904<br>9397<br>58.78<br>0.122                    | Krypton<br>クリプトン<br>36 Kr<br>83.80<br>3.7493<br>-156.6<br>-153.35<br>0.00949 |                |  |                   |
|    | Rubidium<br>ルビジウム<br>37 Rb<br>85.4678<br>1532<br>36.89<br>688<br>58.2 | Strontium<br>ストロンチウム<br>38 Sr<br>87.62<br>2540<br>777<br>1414<br>35.3 | Yttrium<br>イットリウム<br>39 Y<br>88.90585<br>4469<br>1520<br>3398<br>17.2    | Zirconium<br>ジルコニウム<br>40 Zr<br>91.224<br>87.62<br>1852<br>4361<br>22.7               | Niobium<br>ニオブ<br>41 Nb<br>92.90638<br>87.62<br>1852<br>4361<br>22.7 | Molybdenum<br>モリブデン<br>42 Mo<br>95.94<br>87.62<br>1852<br>4361<br>22.7 | Technetium<br>テクネチウム<br>43 Tc<br>98.90625<br>87.62<br>1852<br>4361<br>22.7 | Ruthenium<br>ルルチウム<br>44 Ru<br>101.07<br>12410<br>2250<br>4155<br>117 | Rhodium<br>ロジウム<br>45 Rh<br>102.90550<br>12410<br>1960<br>3697<br>150 | Palladium<br>パラジウム<br>46 Pd<br>106.42<br>12410<br>1552<br>2964<br>71.8 | Silver<br>銀<br>47 Ag<br>107.8682<br>10500<br>961.93<br>2162<br>429 | Cadmium<br>カドミウム<br>48 Cd<br>112.411<br>112.411<br>321.03<br>307.2<br>96.8 | Indium<br>インジウム<br>49 In<br>114.818<br>114.818<br>456.61<br>307.2<br>96.8 | Tin<br>スズ<br>50 Sn<br>118.710<br>118.710<br>231.97<br>207.2<br>96.8     | Antimony<br>アンチモン<br>51 Sb<br>121.760<br>121.760<br>630.74<br>231.97<br>96.8 | Tellurium<br>テルル<br>52 Te<br>127.60<br>127.60<br>449.8<br>231.97<br>96.8 | Iodine<br>ヨウ素<br>53 I<br>126.90447<br>126.90447<br>119.6<br>184.85<br>0.00569 | Xenon<br>キセノン<br>54 Xe<br>131.293<br>5.8971<br>-111.9<br>-108.1<br>0.00569   |                |  |                   |
|    | Cesium<br>セシウム<br>55 Cs<br>132.90545<br>1873<br>28.4<br>658<br>35.9   | Barium<br>バリウム<br>56 Ba<br>137.327<br>3594<br>729<br>1637<br>18.4     | 57-71 (Lanthanide)<br>ランタン系                                              | 57-71 (Lanthanide)<br>ランタン系                                                           | 57-71 (Lanthanide)<br>ランタン系                                          | 57-71 (Lanthanide)<br>ランタン系                                            | 57-71 (Lanthanide)<br>ランタン系                                                | 57-71 (Lanthanide)<br>ランタン系                                           | 57-71 (Lanthanide)<br>ランタン系                                           | 57-71 (Lanthanide)<br>ランタン系                                            | 57-71 (Lanthanide)<br>ランタン系                                        | 57-71 (Lanthanide)<br>ランタン系                                                | 57-71 (Lanthanide)<br>ランタン系                                               | 57-71 (Lanthanide)<br>ランタン系                                             | 57-71 (Lanthanide)<br>ランタン系                                                  | 57-71 (Lanthanide)<br>ランタン系                                              | 57-71 (Lanthanide)<br>ランタン系                                                   | 57-71 (Lanthanide)<br>ランタン系                                                  |                |  |                   |
|    | Francium<br>フランシウム<br>87 Fr<br>223<br>27<br>677<br>—                  | Radium<br>ラジウム<br>88 Ra<br>226<br>~5000<br>700<br>1140<br>~18.6       | 89-103 (Actinide)<br>アクチニウム系                                             | 89-103 (Actinide)<br>アクチニウム系                                                          | 89-103 (Actinide)<br>アクチニウム系                                         | 89-103 (Actinide)<br>アクチニウム系                                           | 89-103 (Actinide)<br>アクチニウム系                                               | 89-103 (Actinide)<br>アクチニウム系                                          | 89-103 (Actinide)<br>アクチニウム系                                          | 89-103 (Actinide)<br>アクチニウム系                                           | 89-103 (Actinide)<br>アクチニウム系                                       | 89-103 (Actinide)<br>アクチニウム系                                               | 89-103 (Actinide)<br>アクチニウム系                                              | 89-103 (Actinide)<br>アクチニウム系                                            | 89-103 (Actinide)<br>アクチニウム系                                                 | 89-103 (Actinide)<br>アクチニウム系                                             | 89-103 (Actinide)<br>アクチニウム系                                                  | 89-103 (Actinide)<br>アクチニウム系                                                 |                |  |                   |
|    | 57-71 (Lanthanide)<br>ランタン系                                           | 57-71 (Lanthanide)<br>ランタン系                                           | 57-71 (Lanthanide)<br>ランタン系                                              | 57-71 (Lanthanide)<br>ランタン系                                                           | 57-71 (Lanthanide)<br>ランタン系                                          | 57-71 (Lanthanide)<br>ランタン系                                            | 57-71 (Lanthanide)<br>ランタン系                                                | 57-71 (Lanthanide)<br>ランタン系                                           | 57-71 (Lanthanide)<br>ランタン系                                           | 57-71 (Lanthanide)<br>ランタン系                                            | 57-71 (Lanthanide)<br>ランタン系                                        | 57-71 (Lanthanide)<br>ランタン系                                                | 57-71 (Lanthanide)<br>ランタン系                                               | 57-71 (Lanthanide)<br>ランタン系                                             | 57-71 (Lanthanide)<br>ランタン系                                                  | 57-71 (Lanthanide)<br>ランタン系                                              | 57-71 (Lanthanide)<br>ランタン系                                                   | 57-71 (Lanthanide)<br>ランタン系                                                  |                |  |                   |
|    | 89-103 (Actinide)<br>アクチニウム系                                          | 89-103 (Actinide)<br>アクチニウム系                                          | 89-103 (Actinide)<br>アクチニウム系                                             | 89-103 (Actinide)<br>アクチニウム系                                                          | 89-103 (Actinide)<br>アクチニウム系                                         | 89-103 (Actinide)<br>アクチニウム系                                           | 89-103 (Actinide)<br>アクチニウム系                                               | 89-103 (Actinide)<br>アクチニウム系                                          | 89-103 (Actinide)<br>アクチニウム系                                          | 89-103 (Actinide)<br>アクチニウム系                                           | 89-103 (Actinide)<br>アクチニウム系                                       | 89-103 (Actinide)<br>アクチニウム系                                               | 89-103 (Actinide)<br>アクチニウム系                                              | 89-103 (Actinide)<br>アクチニウム系                                            | 89-103 (Actinide)<br>アクチニウム系                                                 | 89-103 (Actinide)<br>アクチニウム系                                             | 89-103 (Actinide)<br>アクチニウム系                                                  | 89-103 (Actinide)<br>アクチニウム系                                                 |                |  |                   |

- この元素周期表の諸数値は(株)アグネ技術センターの御了解を得て、  
“新版アグネ元素周期表”より一部を転載させて頂きました。
- 不明な測定値には一で示し、不確定なデータには数値の前に～を付けています。
- \*印で表示した部分は、限られた表示範囲に必要な情報を盛り込む事が困難な為、最新の理化学辞典等を参照願います。

|                  |                                 |
|------------------|---------------------------------|
| 元素は次のように色分けしてある。 |                                 |
| 1 金 属…           | <Metals>                        |
| 強磁性元素…           | <Ferromagnetic Elements>        |
| 超伝導元素…           | <Super-Conducting Elements>     |
| 2 非金属・希ガス…       | <Non-Metals, Rare Gases>        |
| 3 半金属及び半導体…      | <Semi-Metals & Semi-Conductors> |

*The variety of processes used in the recovery and refining of PM can be classified into two major process categories which are based on the differences in the raw material sources*

*~ from primary sources, those concentrates obtained from mined platinum bearing copper-nickel sulfide ores, etc.*

*~ from secondary raw material sources such as recycled industrial products, spent catalyst, electronic scrap, spent electrolytes, and jewelry scrap.*

*The recovery method chosen depends on the physical form of the source, its precious metal content, and the nature of the other elements present.*

## *Secondary metallic sources*

*~ high grade (with a high precious metal content, ex, jewelry scrap): dissolved with acids, recovery by electrowining, ion exchange or group separation precipitation.*

*~ low grade: crushing and sizing, upgrading by beneficiation and/or concentration by physical and mechanical means, and then are processed for recovery and refining by the methods mentioned above.*

# *Recovery and Refining of Precious Metals from Primary Sources*

## *Part I, Contents*

### *A.- Recovery and Refining of PGM*

- Raw materials found with nickel and copper sulfide concentrate*
- Raw materials from the Merensky Reef in South Africa*
- Conventional method*
- Solvent Extraction technology (SX)*

*INCO Acton Refinery Method, (Canada)*

*Matthey Rustenburg Refinery Method (South Africa)*

*Lonrho Refinery Method (South Africa)*

### *B.- Recovery and Refining of Gold and Silver*

- Cyanidation process*
- Recovery and refining from base metal slimes*

## ***A.- Recovery and refining of PGM***

*There are two primary sources for the PGM:*

*~ Those found along the chromite vein in pyroxene deposits in South Africa's Bushveld complex*

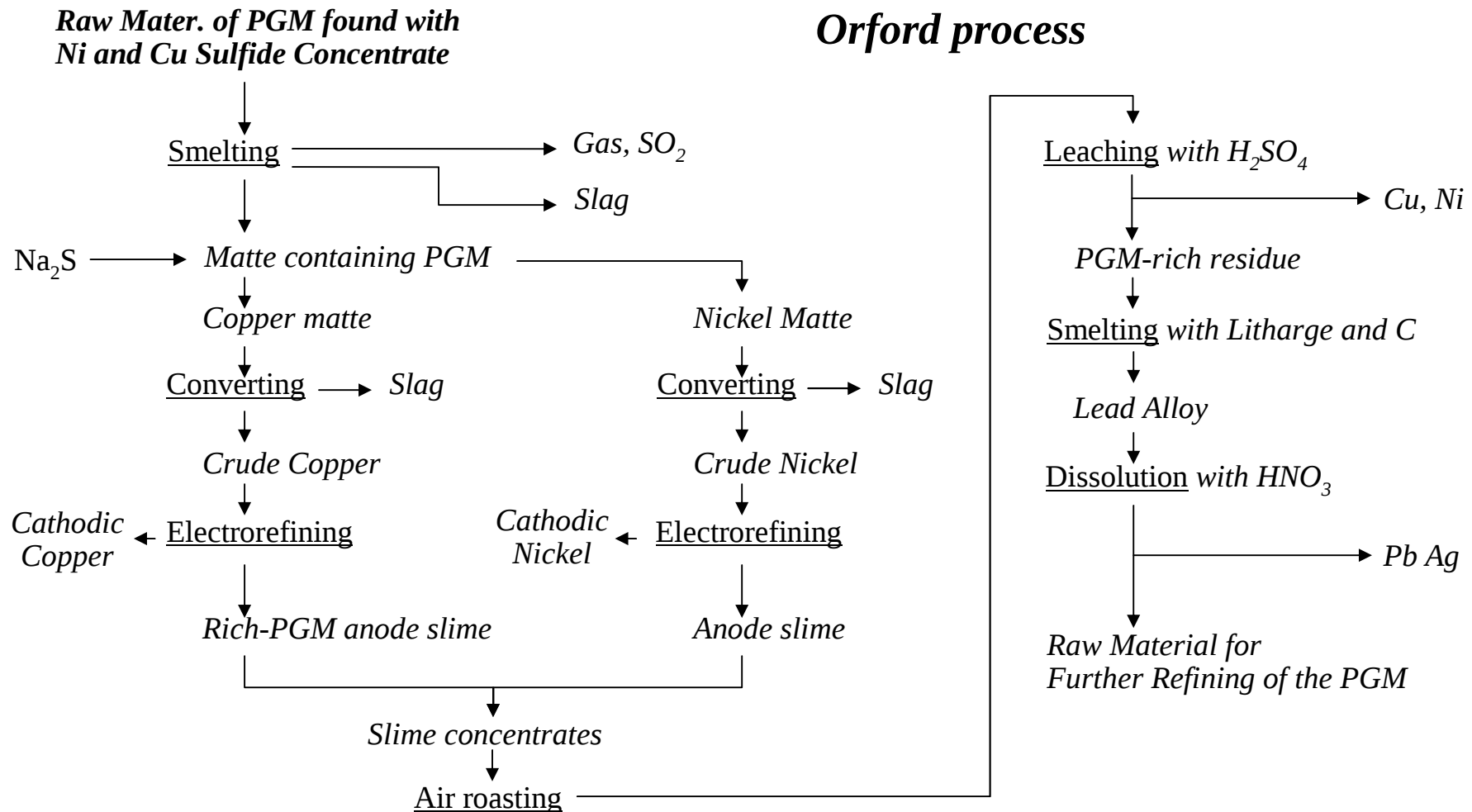
*~ Those derived from anodes slimes, a by-product of primary copper and/or nickel electrorefining.*

*Aluvial deposits of native platinum or alloys such as osmiridium are so scarce that they are not included.*

*Major primary PGM* = Pt, Pd

*Minor secondary PGM* = Ru, Rh, Os and Ir

# *Raw materials found with nickel and copper concentrate*



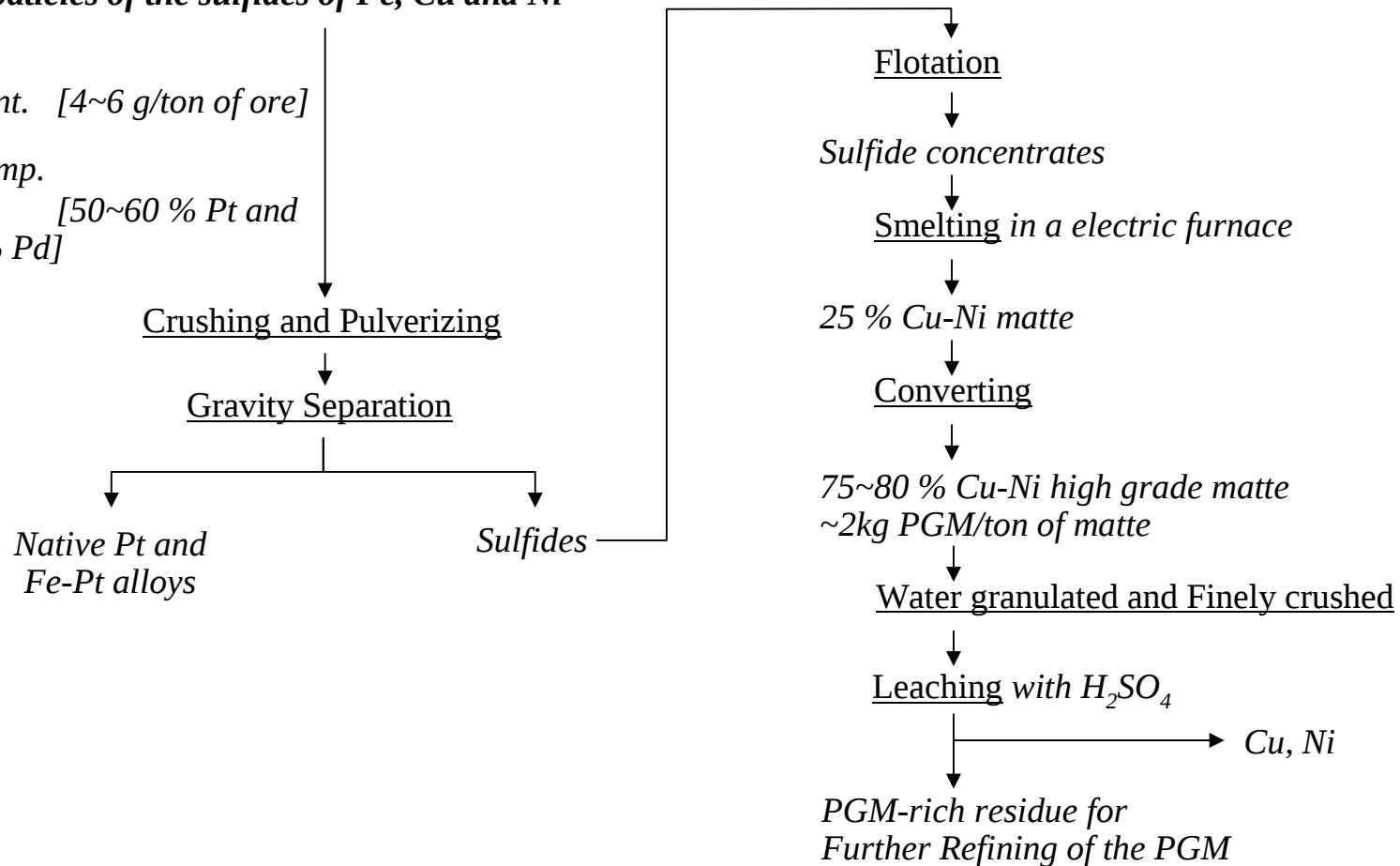
*The pressurized carbonyl process practiced by INCO Canada strips Ni as gaseous Ni carbonyl, and leaves residues that contain PGM*

# *Raw materials from the Merensky Reef in South Africa*

**Raw Mater. of Pt-bearing Iron-chromite reef layers accompanied by small particles of the sulfides of Fe, Cu and Ni**

PGM cont. [4~6 g/ton of ore]

PGM comp.  
[50~60 % Pt and  
20~25 % Pd]

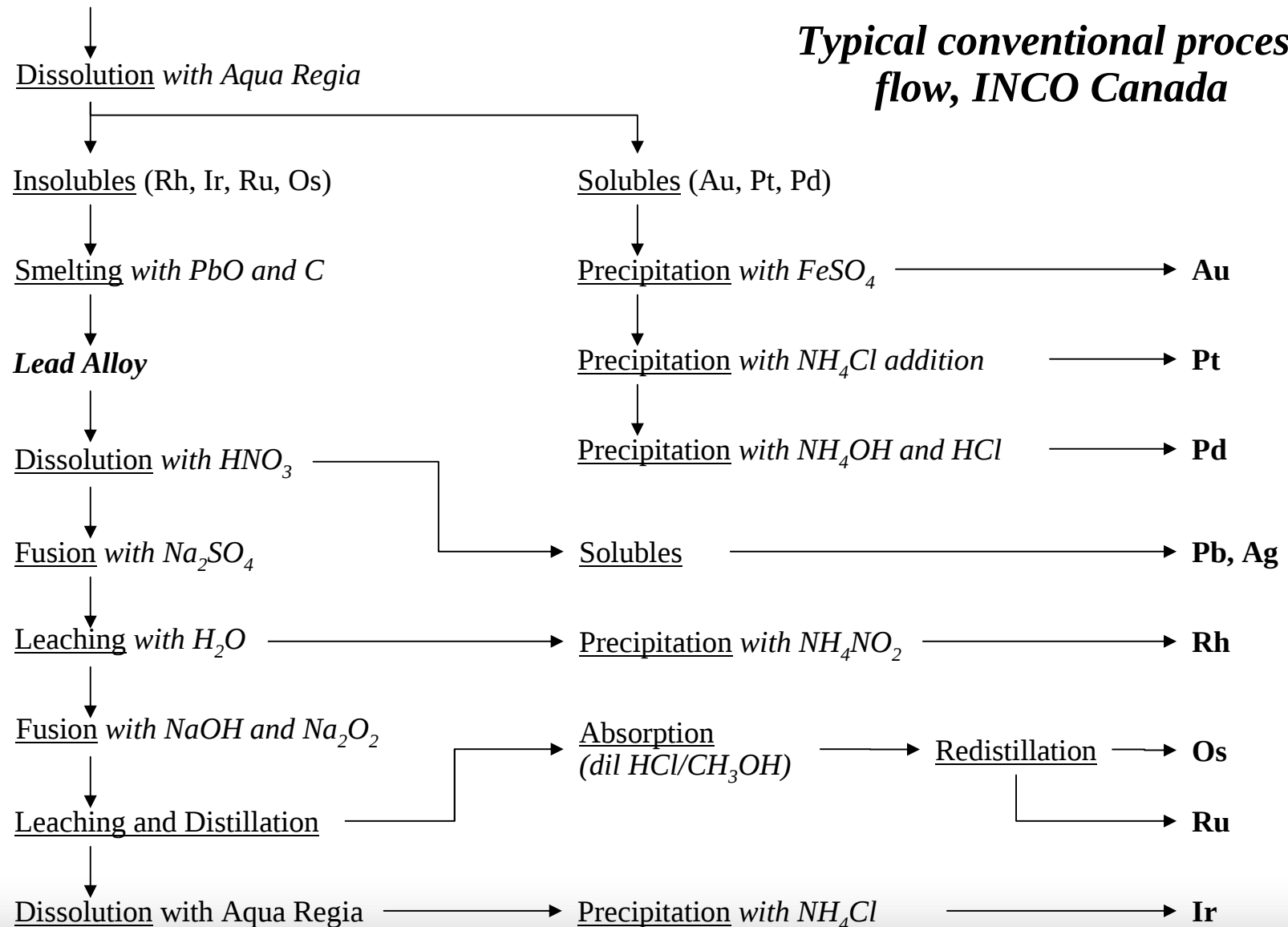


*For raw materials, the Pt, partly in the form of native metal, is invariably found as a Fe-Pt alloy and/or as the sulfide, and arsenide of Fe, Cu or Ni.*

# Conventional method

## RAW MATERIAL

## Typical conventional process flow, INCO Canada



## ***B.- Recovery and refining of Gold and Silver***

*There are 2 main mineral sources for gold and silver production:*

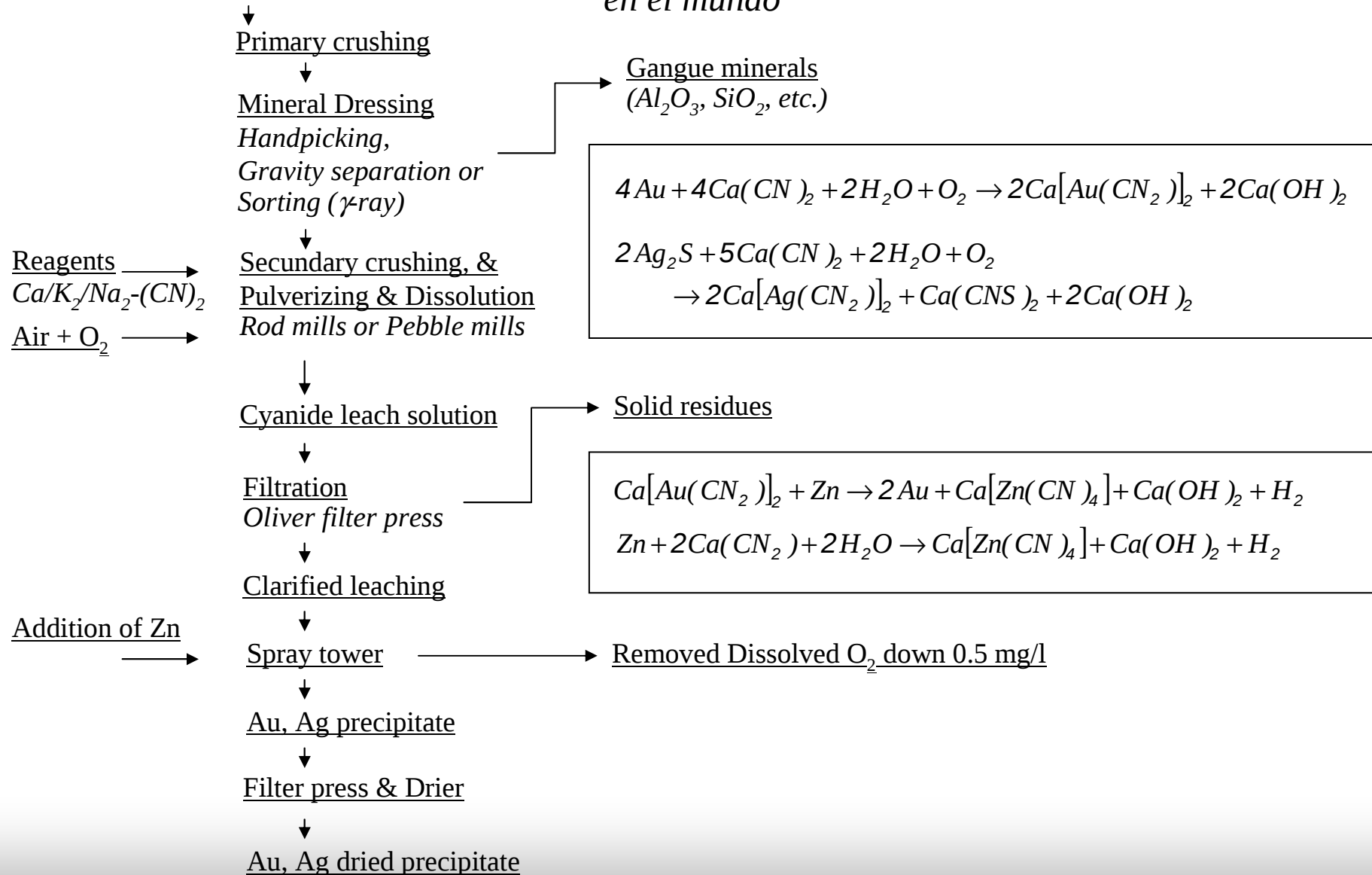
- Sources from the Witwatersrand Basin in South Africa (Au, Ag native, compounds in quartz veins and scattered in gravels).*
- Associated with base metal sulfide concentrates such as Cu, Pb and Zn, including arsenides, tellurides or antimonides (PM are concentrated in the electrolytic refining anode slimes).*

*Gold and Silver Silicious ores are used as slag-forming fluxing agent in pyrometallurgy or they are treated by amalgamation, cyanidation and chlorination methods for metal separation and recovery.*

## Cyanidation Process

Proceso que se emplea más ampliamente en el mundo

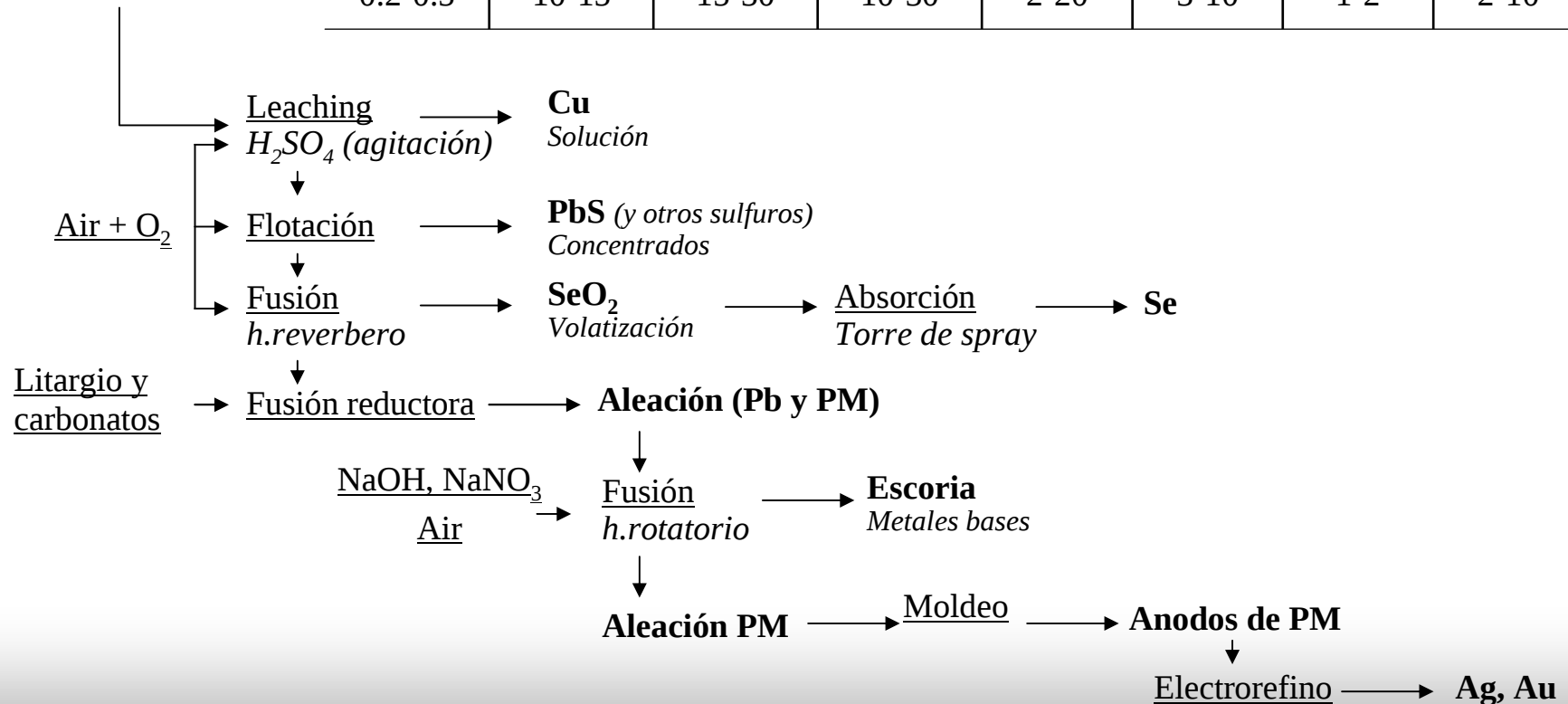
### Au, Ag BEARING SILICIOUS ORES



1. Los barras anódicas generados en la etapa de ER de cobre crudo, contienen Au, Ag como PM y otros elementos tales como Se, Te en traza con compuestos sulfurados insolubles.

Barras anódicas de Cu  
 MB (Cu, Pb/S), PM (Ag, Au)  
 e I (Se, Te, Bi)

| Composición típica de barras anódicas de cobre (%) |       |       |       |      |      |     |      |
|----------------------------------------------------|-------|-------|-------|------|------|-----|------|
| Au                                                 | Ag    | Cu    | Pb    | Bi   | Se   | Te  | S    |
| 0.2-0.5                                            | 10-15 | 15-30 | 10-30 | 2-20 | 3-10 | 1-2 | 2-10 |



# *Recovery and Refining of Precious Metals from Scrap*

*Los PM de alta pureza  $>99.5\%$  son principalmente comercializados en lingotes y utilizados en numerosas aplicaciones industriales como componentes electrónicos, catalizadores, etc. La recuperación de los PM desde chatarras depende fuertemente de la demanda de mercado y de las reservas de sus fuentes primarias (minería de sus minerales asociados).*

*Para seleccionar un proceso de reciclaje de PM eficiente y técnico-económicamente adecuado resulta indispensable conocer la naturaleza y las características de los productos industriales y chatarras a procesar.*

*La recuperación de PM desde fuentes secundarias contempla la recuperación y el posterior refinado de los elementos preciosos individuales y debe ser considerado como un proceso global al momento de evaluar su eficiencia y viabilidad.*

## *Procesos de tratamiento previo*

### *Tratamientos previos al reciclaje de chatarras que contienen PM*

- *Tipo de PM contenidos en estos materiales*
- *Otros materiales constituyentes y sus características*
- *Estimación del contenido de PM y de otros materiales en las chatarras.*
- *Metodos de manofactura y formas de las chatarras a ser recicladas.*
- *Cuando las chatarras a ser recicladas se encuentran en ó son una solución, debemos considerar su composición, característica y la química de los PM que la componen.*

## Procesos de tratamiento previo

| Pre-Processing Treatment | Content                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Practical Examples                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Calcination           | <p>(1) Recycled materials which contain organic substances or carbonaceous materials are calcined, whereby producing ashes and decreasing the total amount of scrap materials to be processed in the following processes.</p> <p>(2) Furnaces (classified from the combustion method) include: gate furnace, hearth furnace, fluidized bed furnace, pulverized furnace, rotary furnace, cyclone furnace, multiple hearth furnace, etc.</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Catalysts with carbon or organic substrates</li> <li>• Polishing powders</li> <li>• Photographic films and paper wastes</li> <li>• Chinawares or electroconductive pastes</li> <li>• Precious metals adsorbents and activated carbon from electrolytes</li> <li>• Others, including electronic components, etc.</li> </ul> |

## *Procesos de tratamiento previo*

---

### 2. Crushing

- (1) Crushing is done to materials which contain precious metal encapsulated so that better liberation and recovery of precious metals, and accurate evaluation of their contents, can be done.
  - (2) Crushing methods and machines are selected based on crushing needs and shapes of the recycled materials; examples include: jaw crusher, edge runner crusher, hammer-mill, stamp-mill, ball-mill, etc.
- Alumina-based catalysts
  - Glass encapsulated lead scrap
  - Solidus materials similar to mine concentrates
  - Others: condenser chips, resistors, plastic mold devices, ceramic devices, etc.

---

### 3. Classification

- (1) When recycled materials are mixed with other materials not containing precious metals, and they are of different sizes, classification by sieves or gravitational separation is done to concentrate materials containing precious metals.
  - (2) Simple classification: hand-shaked sieving; other methods include the vibrating sieve-classification machine, jigging water-table, etc.
- Elimination of oversizes mixed in recycled materials
  - Separation of recycled material from others utilizing the differences in size, shape or specific gravity, after treatment by calcination or crushing
-

## Procesos de tratamiento previo

| Pre-Processing Treatment | Content                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Practical Examples                                                                                                                                                                                                                     |
|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4. Magnetic Separation   | <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) Separation based on magnetic differences of materials.</li> <li>(2) Ordinary magnets fulfill the purpose of separation; the use of stronger magnets such as samarium-cobalt or electromagnets can separate materials such as precious metal surface coatings having nickel electroplating underneath.</li> </ol> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Elimination of iron metal, iron powders, iron-nickel alloys, etc.</li> <li>• Separation and recovery of gold plated materials with nickel undercoatings on copper substrates</li> </ul>       |
| 5. Filtration            | <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) Filtration separation is done when one of the recycled materials is solid and the other is liquid.</li> <li>(2) Filtration includes: gravity filtration, vacuum filtration, pressurized filtration, centrifugal filtration, etc.</li> </ol>                                                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Elimination of oversized or alien substances in photographic developer solution or electrolytic solution</li> <li>• Separation of electrolytic residues containing precious metals</li> </ul> |

---

### 6. Chemical Treatment

- (1) This is preliminary chemical treatment before refining precious metals. These treatments are often used in subsequent separation and refining during recovery of precious metals from scraps.
  - (2) Reacting certain chemicals with either recycled materials or scraps may make them separable by filtration.
- Electroplated or clad coatings of precious metals
  - Catalysts with precious metals on alumina substrates
  - Photo-negative films, etc.

---

### 7. Electrolysis

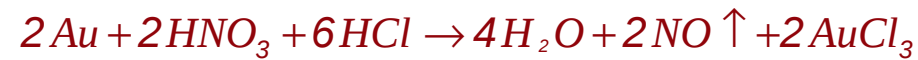
- (1) Electrolysis in pre-processing is used to precipitate precious metals on the cathode for recovery from solution.
  - (2) This is used in refining of precious metals as well as in pre-processing treatment.
- Waste solution treatment in electro-plating processes
  - Treatment of photodeveloper and fixer solution
-

## REACCIONES BÁSICAS EN LA RECUPERACIÓN DE ORO DESDE MATERIALES RECICLADOS

### Operación

### Reacciones básicas de disolución

(1) Chatarra de Oro disuelta en agua regia a la forma de cloruro de oro:



(2) Oro disuelto en una solución de cianuro bajo la presencia de agentes oxidantes como aire ó peroxido de hidrogeno a la forma de cianuro de oro:



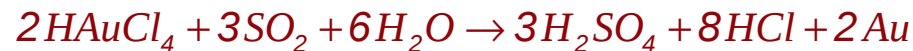
## REACCIONES BÁSICAS EN LA RECUPERACIÓN DE ORO DESDE MATERIALES RECICLADOS

### Operación

### Reacciones básicas de reducción

(1) Cloruro de oro en solución puede ser reducido por una de las siguientes reacciones:

a) Reacción con dióxido de azufre:



b) Reacción con peróxido de hidrógeno alcalino:



c) Reacción con sulfato ferroso o con ácido oxálico:



d) Reacción con polvo de cobre o de cinc:



e) Reacción electrolítica utilizando una placa de oro como ánodo y un bloque de grafito como cátodo:



## REACCIONES BÁSICAS EN LA RECUPERACIÓN DE PLATA DESDE MATERIALES RECICLADOS

### Operación

### Reacciones básicas de disolución

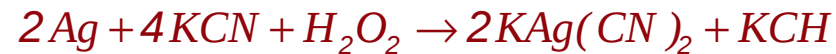
(1) Plata disuelta en ácido nítrico:



(2) Plata disuelta en ácido sulfúrico caliente:



(3) Plata disuelta en cianuro:



## REACCIONES BÁSICAS EN LA RECUPERACIÓN DE PLATA DESDE MATERIALES RECICLADOS

### Operación

### Reacciones básicas de reducción

(1) Nitrato de plata puede ser reducido por una de las siguientes reacciones:

a) Reacción con polvo de cobre, cinc o aluminio:



b) Reacción con formaldehído alcalino:



c) Reacción electrolítica:



d) Reducción pirometalúrgica en presencia de cinc en polvo o de carbonato de sodio, luego de la conversión a cloruro de plata:



(2) Plata en solución de cianuro puede ser fácilmente reducida con polvo de cinc:



(3) Los métodos antes descritos generan una plata con pureza < 99.99 %, sin embargo mediante electrorrefinación es posible obtener plata con una pureza superior.

---

## **REACCIONES BÁSICAS EN LA RECUPERACIÓN DE PLATINO DESDE MATERIALES RECICLADOS**

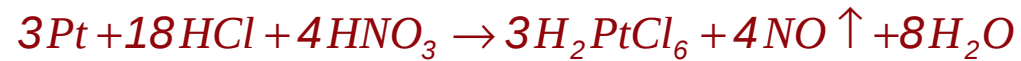
---

### **Operación**

### **Reacciones básicas de disolución**

---

*(1) Platino disuelto por agua regia para formar una sal de hexacloruro de platino:*



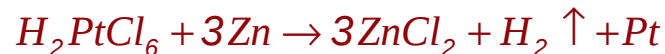
## REACCIONES BÁSICAS EN LA RECUPERACIÓN DE PLATINO DESDE MATERIALES RECICLADOS

### Operación

### Reacciones básicas de reducción

(1) El hexacloruro de platino puede ser reducido por una de las siguientes reacciones:

a) Reacción con polvo de cinc o aluminio:



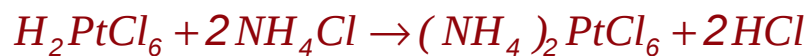
b) Reacción con ácido fórmico caliente:



c) Reacción con formaldehído alcalino:



(2) Calcinación de hexocloroplatino de amonio. El compuesto se obtiene como un precipitado mediante la adición de cloruro de amonio a la solución que contiene los iones de platino:



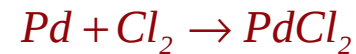
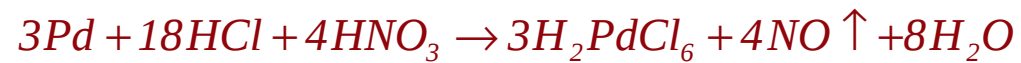
Para obtener platino puro, la solución debe ser primero neutralizada con una solución alcalina, debido a la hidrólisis de otros iones metálicos se produce la precipitación de impurezas metálicas las que son removidas por filtración. Posteriormente, la solución filtrada que contiene los iones de platino ( $PtCl_6^{-2}$ ) reacciona con el cloruro de amonio para precipitar  $(NH_4)_2PtCl_6$ .

## REACCIONES BÁSICAS EN LA RECUPERACIÓN DE PALADIO DESDE MATERIALES RECICLADOS

### Operación

### Reacciones básicas de disolución

(1) El paladio puede ser disuelto por agua regia, ácido clorídrico, ácido nítrico caliente ó clorina:



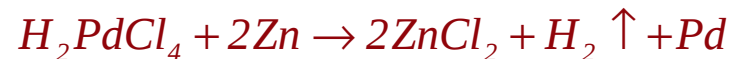
## REACCIONES BÁSICAS EN LA RECUPERACIÓN DE PALADIO DESDE MATERIALES RECICLADOS

### Operación

### Reacciones básicas de reducción

(1) El cloruro de paladio en solución puede ser reducido por una de las siguientes reacciones:

a) Reacción con polvo de cobre ó cinc:

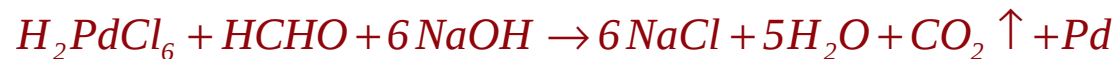


Este tipo de reacción de reducción mediante la adición de polvos metálicos también es utilizado para nitratos de paladio ó para sulfatos en solución

b) Reacción con ácido fórmico caliente:



c) Reacción con formaldehído alcalino:



(2) Otros procesos incluyen el tratamiento de soluciones con amonio ó con cloruro de amonio de donde se obtienen los característicos precipitados de color rojo,  $[PdCl_6(NH_4)_2]$  y de color amarillo,  $[PdCl_2(NH_3)_2]$ . Estos precipitados pueden ser calcinados bajo ambiente reductor para producir paladio metálico de alta pureza.

## REACCIONES BÁSICAS EN LA RECUPERACIÓN DE RODIO DESDE MATERIALES RECICLADOS

### Operación

### Reacciones básicas de disolución

(1) El rodio es fundido con bisulfato de potasio para generar sulfato de rodio soluble en agua:



(2) Se procede a formar una aleación compuesta por la sal sulfatada obtenida de la reacción anterior y un dúcuplo de en exeso de cinc o plomo, la aleación es tratada con ácido clorídrico o nítrico. El residuo remanente luego de remover la solución puede ser fácilmente disuelto con agua regia generando cloruro de rodio,  $H_3RhCl_6$ .

(3) Alternativamente, el rodio puede ser mezclado con cloruro de sodio y saturado con cloro gaseoso para formar una sal soluble de cloruro de sodio-rodio,  $Na_3RhCl_6$ .

## REACCIONES BÁSICAS EN LA RECUPERACIÓN DE RODIO DESDE MATERIALES RECICLADOS

### Operación

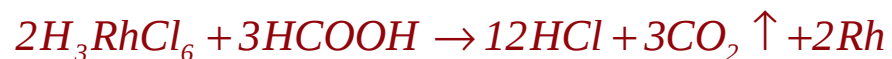
### Reacciones básicas de reducción

(1) El cloruro de rodio ó el sulfato de rodio en solución puede ser reducido por una de las siguientes reacciones:

a) Reacción con polvo de cinc:



b) Reacción con ácido fórmico caliente:



(2) Para lograr la obtención de rodio metálico de alta pureza es recomendable realizar repetidas disoluciones y precipitaciones de la sal de nitrato de rodio,  $[(\text{NH}_4)_3 \text{Rh} (\text{NO}_2)_6]$  antes de realizar la reducción. La formación de dicha sal se genera agregando acetato de amonio a las reacciones descritas en a) y b).

---

## REACCIONES BÁSICAS EN LA RECUPERACIÓN DE IRIDIO, OSMIO Y RUTENIO DESDE MATERIALES RECICLADOS

---

### Operación

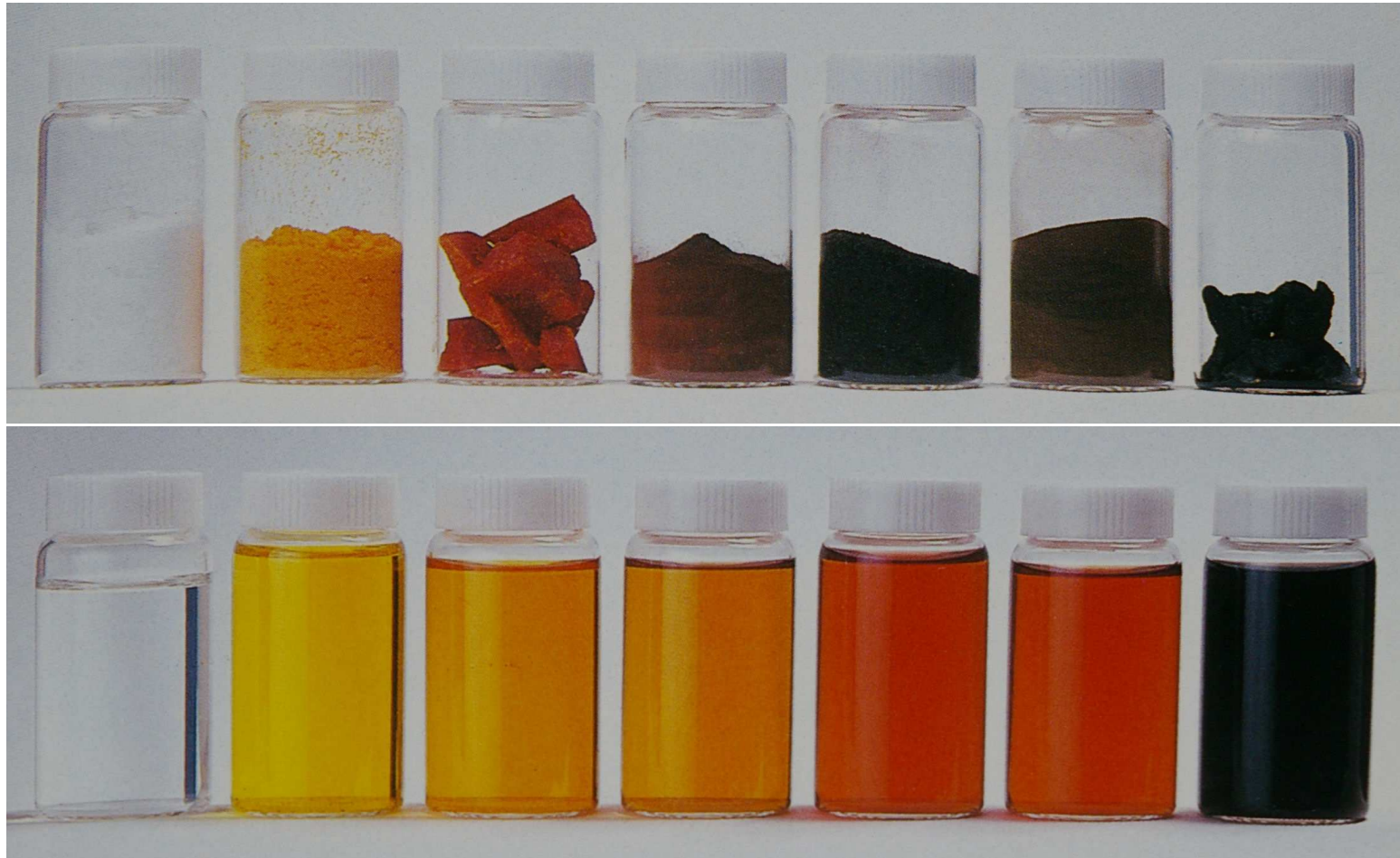
### Reacciones básicas de reducción

---

*Estos metales no pueden ser disueltos directamente en ácidos, sin embargo existen procedimientos generales que consisten en la formación de sus sales solubles en agua y que aseguran sus recuperaciones:*

- a) Fusión peróxido-alcalina con NaOH, KNO<sub>3</sub> ó KCl.*
  - b) Clorinación alcalina utilizando cloro gaseoso y NaCl.*
  - c) Tostación oxidante del Osmio para producir su vapor y luego absorberlo en ácido clorídrico.*
-

## RECUPERACIÓN DE PM DESDE MATERIALES RECICLADOS



*Cristales (Ariiba) y Soluciones (Abajo) de varios compuestos de metales preciosos. Desde izquierda a derecha:  
Nitrato de plata, cloruro de oro, cloruro de platino, cloruro de paladio,  
cloruro de rodio, cloruro de iridio y cloruro de rutenio.*



ERROR: syntaxerror  
OFFENDING COMMAND: --nostringval--

STACK:

```
/Title  
( )  
/Subject  
(D:20110318101945-04'00')  
/ModDate  
( )  
/Keywords  
(PDFCreator Version 0.9.5)  
/Creator  
(D:20110318101945-04'00')  
/CreationDate  
(Leandro Voisin A.)  
/Author  
-mark-
```