

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Ingeniería Geológica Minas y Metalúrgica



“Investigación Comparativa de los Métodos Clásicos de Refinación de Oro en Eficiencia y Costos, Proceso Agua Regia, Proceso Ácido Nítrico, Proceso Agua Regia sin encuarte, Proceso Outokumpu Modificado, para pequeñas Refinerías de Oro”

Tesis presentado por el Bachiller:

Miguel Ángel, Ponce Sánchez

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO METALURGISTA

LIMA – PERU

2005

DEDICATORIA :

El presente trabajo se lo dedico en una forma muy especial a mis queridos padres **Gloria Eufracina y Miguel Ángel** y hermanos por su constante apoyo. A Dios por que siempre me guiará en la vida por la senda del bien y la felicidad.

AGRADECIMIENTO

El agradecimiento y gratitud al Ing. Hernán Álvarez Paniagua, poco de lo que se, se debe al esfuerzo personal y a los conocimientos, experiencias e ideas; que llegaron a través de los Señores Catedráticos de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica de la UNI, de los trabajadores en JOYERIA FINA y los trabajadores informales en MINERIA de la zona de Puno, que resultaría excesivo nombrarlos, vaya mi agradecimiento para Ellos.

PRESENTACION

SEÑOR DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA MINAS Y METALURGICA.

SEÑOR DIRECTOR DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA.

SEÑORES MIEMBROS DEL JURADO.

Someto a vuestra consideración el presente trabajo **“Investigación Comparativa de los Métodos Clásicos de Refinación de Oro en Eficiencia y Costos. Proceso Agua Regia, Proceso Ácido Nítrico, Proceso Agua Regia sin encuarte, Proceso Outokumpu Modificado, para pequeñas Refinerías de Oro”**, con el objeto de optar el Título Profesional de Ingeniero Metalurgista conforme al Reglamento de Grados y Títulos de la Escuela.

El tema elegido va siendo cada vez mas difundido en nuestro medio debido a la gran importancia que implica en nuestra economía la minería aurífera, sobre todo en pequeña escala, la cual alivia significativamente la falta de empleo de nuestra región. El presente trabajo ha sido desarrollado sobre la base experimental, la cual nos ha permitido lograr los objetivos planteados al inicio del trabajo y concluirlo satisfactoriamente, y así evitar la contaminación ambiental con desechos de minerales como los relaves de los informales de la zona.

El presente trabajo esta descrito en términos técnicos bastante sencillos de tal modo que puede constituirse como un manual muy práctico para estudiantes y profesionales de Ingeniería Metalúrgica que tengan interés en esta actividad. Además constituye la oportunidad para motivar futuras investigaciones que maximicen la calidad de este trabajo.

Bachiller: MIGUEL ANGEL PONCE SANCHEZ

COMPARACION DE LOS METODOS CLASICOS DE REFINACION DE ORO EN COSTOS Y EFICIENCIA PARA PEQUEÑAS REFINERIAS DE ORO, PROCESO AGUA REGIA, PROCESO ACIDO NITRICO, PROCESO OUTOKUMPU, PROCESO AGUA REGIA CON INCUARTE.

INDICE

	Pagina
RESUMEN	17
INTRODUCCION	18
CAPITULO – I	19
FUNDAMENTACION DE LA EVALUACION	19
1.1 Definición del Problema	19
1.2. Objetivos	19
1.2.1 Objetivo General	19
1.2.2 Objetivos Específicos	19
1.3. Hipótesis	19
1.4 Justificación	19
1.4.1 Justificación Técnica	19
1.4.2 Justificación Económica	20
1.4.3 Justificación Social	20
1.5 Alcances	20
1.6 Breve Descripción de Suri Gold	20
CAPITULO – II	21
REVISION BIBLIOGRAFICA	21
2.1 Generalidades	21
2.2 Materia Prima	21
2.2.1. Materia Prima Principal Oro	22
2.2.1.1. Definiciones Fundamentales	25
2.2.1.2. Mineralogía de los Minerales Auríferos	26
2.2.1.3. Tipos de Yacimientos Auríferos	26

2.2.1.4. Propiedades Físicas	27
2.2.1.5. Propiedades Químicas	27
2.2.1.6. Propiedades Mecánicas	28
2.2.1.7. Usos	28
2.2.1.8. Comercialización	33
2.2.2 Materias Primas Secundarias	36
2.2.2.1. Plata	36
2.2.2.2. Cobre	37
2.2.2.3. Acido Nítrico	39
2.2.2.4. Acido Clorhídrico	40
2.2.2.5. Bisulfito de Sódio	42
2.2.2.6. Bórax	42
2.3. Refinación de Oro	43
2.3.1. Refinación Química del Oro	45
2.3.1.1. Proceso de Incuartacion	46
2.3.2. Métodos de Refinación de Oro	46
2.3.2.1. Proceso con Acido Nítrico	46
2.3.2.2. Proceso con Acido Sulfúrico	51
2.3.2.3. Proceso con Agua Regia	53
2.3.2.4. Proceso Wohlwill	56
2.3.2.5. Proceso Miller	57
2.3.2.6. Proceso Outokumpo	60
2.3.2.7. Proceso Outokumpo (modificado)	60
2.3.2.8. Proceso Base Clorhídrico	61
2.3.2.7. Proceso Sumitomo	61
2.3.2.8. Proceso Iner	63
2.3.2.9. Proceso Inco	64
2.3.2.10. Proceso Noranda	66
2.3.2.11. Proceso Peruano. Minera Poderosa S.A	67
2.3.3. Comparación de los Métodos de Refinación	70
2.3.4. Proceso de Precipitación	71

2.3.4.1. Precipitación con ácido Sulfúrico	71
2.3.4.2. Precipitación por medio del ácido Oxálico	72
2.3.4.3. Precipitación con Bisulfito de Sodio	72
2.3.4.4. Precipitación con Nitrato de Sodio	73
2.4. Variables de Refinación de Oro	73
2.4.1. Variables Dependientes	73
2.4.1.1. Costo de Refinación	73
2.4.1.2. Pureza Alcanzada	74
2.4.1.3. Eficiencia de Recuperación	74
2.4.2. Variables Independientes	74
2.4.2.1. Concentración de los Reactivos	74
2.4.2.2. Temperatura	74
2.4.2.3. Tiempo	74
CAPITULO – 3	75
PLANIFICACION DE LA EXPERIMENTACION	75
3.1. Planificación de la Experimentación	75
3.2. Criterios de la Selección de los métodos a Refinar	75
3.2.1. Escala de valoración de los criterios de selección	75
3.2.2. Métodos de Análisis	77
3.2.2.1. Determinación de la ley de los lingotes por copelación	77
A.- Principio	77
B.- Material necesario para el análisis de los metales preciosos vía seca	78
a).- El horno de copelación llamado “horno de mufla”	78
b).- Instrumentos de hornos y aparatos utilizados para la ejecución de las pruebas	78
C.- Modo Operatorio	80
a).- Determinación del total precioso y de la ley aproximativa	80
b).- Determinación del “Total precioso”	81
c).- Determinación aproximada de la ley en oro	81
d).- Preparación de los botones con vistas a la disolución	82

e).- Disolución y recocido de las cornetas	82
f).- Disolución	83
g).- Ejemplo de calculo de la ley aproximativa con vistas de la determinación de las pruebas testigos	83
h).- Pruebas con testigo	84
i).- Corrección de la ley	85
j).- Determinación de la ley de plata	86
3.2.2.2.- Control de Calidad por Rayos X	86
3.2.2.3.- Control de la Calidad del oro fino por Espectrofotometría de Absorción Atómica	87
a).- Toma de prueba	87
b).- Puesta en solución	88
3.2.2.4.- Control de Calidad por Espectrofotómetro de Plasma ICP	88
3.2.2.5.- Métodos de preparación de muestras	88
3.2.2.5.1.- Preparación del Oro bruto que entra en la sociedad	89
a).- Segregación o licuación en los metales brutos	90
b).- Preparación de muestras de los masas brutas	90
b1).- Preparación de una muestra por corte	90
b2).- Preparación de una muestra por perforación del taladro	91
b3).- Preparación de muestra por muestra a la gota	91
b4).- Preparación de muestra por graneado	91
3.3. Experimentación	93
3.4. Algoritmo de la Evaluación	93
3.5. Marco Operativo	95
3.5.1. Descripción del Proceso de Refinación de Oro	95
3.5.1.1. Recepción, pesado	95
3.5.1.2. Fundición y muestreo	95
3.5.1.3. Preparación del material a refinar	95
3.5.1.4. Lixiviación y Disolución	95
3.5.1.5. Precipitación del Oro	97
3.5.1.6. Sedimentado, decantado	98

3.5.1.7. Filtración y lavado del Precipitado	98
3.5.1.8. Secado	98
3.5.1.9. Fundición y muestreo	98
3.5.2. Diferencia de Procesos entre los Métodos seleccionados	98
3.5.3. Control de Calidad	105
3.5.3.1. Análisis del Oro	105
3.5.3.2. Microscopia Electrónica	105
3.6. Variables en la Refinación de Oro	110
3.6.1. Variables Dependientes	110
3.6.1.1. Costo de Refinación	110
3.6.1.2. Pureza Alcanzada	110
3.6.1.3. Eficiencia de recuperación	111
3.6.2. Variables Independientes	111
3.6.2.1. Concentración de los reactivos	111
3.6.2.2. Temperatura	111
3.6.2.3. Tiempo	111
CAPITULO – 4	112
ANALISIS E INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS	112
4.1. Balance de Materia	112
4.1.1. Consideraciones Previas	112
4.1.2. Balance de Materia en los Procesos de Refinación	112
4.1.2.1. Proceso con Acido Nítrico	112
a. Recepción, pesado	112
b. Fundición y muestreo	113
c. Preparación del material a refinar	113
d. Lixiviación y disolución	114
e. Sedimentado, decantado	114
f. Filtración y lavado del cemento	114
g. Secado	115
h. Fundición	115

4.1.2.2. Proceso con Agua Regia	115
a. Recepción, pesado	116
b. Fundición y muestreo	116
c. Preparación del material a refinar	116
d. Lixiviación y disolución	117
e. precipitación del oro	117
f. Sedimentado, decantado	117
g. Filtración y lavado del cemento	117
h. Secado	118
i. Fundición	118
4.1.2.3. Proceso con Agua Regia previa Incuartacion	118
a. Recepción, pesado	118
b. Fundición y muestreo	119
c. Preparación del material a refinar	119
d. Lixiviación y disolución	119
e. Precipitación del oro	120
f. Sedimentado, decantado	120
g. Filtración y lavado del cemento	120
h. Secado	120
i. Fundición	121
4.1.2.4. Proceso Outokumpu (modificado)	121
a. Recepción, pesado	121
b. Fundición y muestreo	121
c. Preparación del material a refinar	122
d. Lixiviación y disolución Acido Nítrico	122
e. Lixiviación y disolución Agua Regia	122
f. Precipitación de oro	123
g. Sedimentado, decantado	123
h. Filtración y lavado del cemento	123
i. Secado	123
j. Fundición	124

4.2. Expresión de Resultados	124
4.2.1. Pureza del Mineral Refinado	124
4.2.2. Costo de Refinación	125
4.2.2.1. Costo de Proceso Acido Nítrico	125
4.2.2.2. Costo de refinación Proceso con Agua Regia	127
4.2.2.3. Costo de refinación Proceso con Agua Regia con Encuarte	129
4.2.2.4. Costo de refinación Proceso Outokumpu Modificado	131
4.3. Resumen de Resultados Obtenidos	133
4.3.1. Purezas Alcanzadas	133
4.3.2. Resumen de Costos por gramo	134
4.3.3. Eficiencias Alcanzadas	135
4.4. Evaluación de Variables	135
4.4.1. Costos de Refinación	135
4.4.2. Leyes Finales	136
4.4.3. Eficiencia de Recuperación	137
4.5. Posibilidad de Refinación según la variedad de mineral de la Región Puno	137
4.6. Convalidación de la Hipótesis	138
4.7. Especificaciones de los Equipos	138
4.7.1. Horno Eléctrico	138
4.7.1.1. Características	138
4.7.1.2. Especificación Técnica Básica	139
4.7.2. Mufla de Secado	140
4.7.2.1. Características	140
4.7.2.2. Especificación Técnica Básica	140
4.7.3. Plancha de Ataque	140
4.7.3.1. Características	140
4.7.3.2. Especificación Técnica Básica	141
4.7.4. Balanza	141
4.7.4.1. Características	141
4.7.4.2. Especificación Técnica Básica	142

CAPITULO – 5	143
COSTO DE LAS EVALUACIONES	143
5.1. Costos Directos de la Evaluación	143
5.1.1. Implementación de Equipó	143
5.1.2. Materiales y reactivos	144
5.2. Costo Indirectos de la Evaluación	145
5.3. Costo Total de la Evaluación	145
CAPITULO – 6	146
SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	146
6.1. Seguridad y Medio Ambiente	146
6.2. Generalidades	146
6.3. Conceptos Fundamentales de Seguridad	146
6.4. Seguridad y Medio Ambiente en las Áreas del laboratorio de la Empresa	147
CONCLUSIONES	148
RECOMENDACIONES	149
BIBLIOGRAFIA	150
ANEXOS	151
Anexo 1.- Glosario	151
Anexo 2.- Principales Hechos de la Historia del Oro	158
Anexo 3.- Proyecto de Ampliación de Refinería Suri Gold.	160
Anexo 4.- Precio del Oro en la ciudad de Juliaca.	161
Anexo 5.- Flow Sheet del Proceso de Refinación de Oro.	162
Anexo 6.- Prueba de la Púrpura de Cassius.	163
Anexo 7.- Norma ISO 11426 para análisis de Oro.	164
Anexo 8.- Prueba de Espectrofotometría de Absorción Atómica para análisis de Oro.	165
Anexo 9.- Etapas de Neutralización de gases para eliminar contaminantes.	166
Anexo 10.- Que es el Good Delivery.	167
Anexo 11.- Refinerías Reconocidas Internacionalmente	168

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Foto 1.- Variedades de Oro Refogado de Puno	21
Foto 2.- Variedades de Oro Refogado de Puno	22
Foto 3.- Minería Artesanal en Puno	23
Foto 4.- Oro Refogado de Benditani Zona de barrido A	24
Foto 5.- Reserva de Valor	35
Foto 6.- Reacción de Bisulfito de Sodio	42
Foto 7.- Ataque con Ácido Nítrico	49
Foto 8.- Emanación de gases nitrosos	49
Foto 9.- Lavado del recipiente donde hubo la reacción	49
Foto 10.- Sedimentación y decantación del cemento de oro	50
Foto 11.- Instalación de los recipientes para la purificación final	50
Foto 12.- Copela con dore platoso	86
Foto 13.- Copela con dore	86
Foto 14.- Pruebas con Espectrometria de absorción Atómica	88
Foto 15.- Fusión del Lingote de Oro	89
Foto 16.- Marcado de las barras ya fundidas	89
Foto 17.- Barras de oro fino	91
Foto 18.- Momentos en que se realiza el granallado	92
Foto 19.- Granallas de oro	92
Foto 20.- Realizando los ataques para la disolución de las impurezas	96
Foto 21.- Zona de barrido B	109
Foto 22.- Haciendo el barrido en el oro de Benditani	110
Foto 23.- Oro refinado Electrolyticamente	154
Foto 24.- Lingotes de oro con el sello Good Delivery	167

LISTA DE DIAGRAMAS

Diagrama 1.- Proceso Ácido Nítrico	48
Diagrama 2.- Proceso Ácido Sulfúrico	52
Diagrama 3.- Proceso Agua Regia	55

Diagrama 4.- Proceso Wohwill	57
Diagrama 5.- Proceso Miller	59
Diagrama 6.- Proceso Outokumpu	60
Diagrama 7.- Proceso Outokumpu (modificado)	61
Diagrama 8.- Proceso Sumitomo	62
Diagrama 9.- Proceso Iner	63
Diagrama 10.- Proceso Inco	65
Diagrama 11.- Proceso Noranda	67
Diagrama 12.- Proceso Cia Minera Poderosa	68
Diagrama 13.- Algoritmo de la Evaluación	94
Diagrama 14.- Diagrama de Bloques para los procesos	99
Diagrama 15.- Refinería de Oro y Plata para proceso Ácido Nítrico	100
Diagrama 16.- Refinería de Oro y plata para proceso con Agua Regia	101
Diagrama 17.- Refinería de Oro y Plata para proceso con Agua Regia previa Incuartacion	102
Diagrama 18.- Refinería de Oro y Plata para proceso Outokumpu (modificado)	103

LISTA DE GRAFICOS

Grafico 1.- Elementos químicos del oro Refogado de Benditani	25
Grafico 2.- Composición de la Demanda Mundial	32
Grafico 3.- Muestra en forma de picos las concentraciones de Impurezas	106
Grafico 3.1.- Punto oscuro de la muestra de Oro Benditani	106
Grafico 3.2.- Punto oscuro de la muestra de Oro de Benditani	107
Grafico 4.- Muestra en forma de picos las concentraciones de los elementos	108
Grafico 4.1.- Muestra completa del oro de Benditani Elemento – Wt%	108
Grafico 4.2.- Muestra completa del oro de Benditani Elemento – At%	109
Grafico 5.- Leyes obtenidas según Método	133
Grafico 6.- Costos de Refinación según Método	134
Grafico 7.- Eficiencia de Refinación según Método	135
Grafico 8.- Modo explicativo de Grado 995.0 Milésimas	153
Grafico 9.- Modo explicativo de Grado 999.5 Milésimas	153

LISTA DE TABLAS

Tabla N° 1.- Composición Semi-cuantitativa del oro de Benditani	24
Tabla N° 2.- Composición Cuantitativa del oro de Benditani	25
Tabla N° 3.- Propiedades del Oro	27
Tabla N° 4.- Demanda de oro fabricación para países industrializados y en desarrollo en 2002 (en toneladas)	33
Tabla N° 5.- Propiedades de la Plata	36
Tabla N° 6.- Propiedades del Cobre	38
Tabla N° 7.- Propiedades del Ácido Nítrico	40
Tabla N° 8.- Propiedades del Ácido Clorhídrico	41
Tabla N° 9a.- Carga típica de Fundentes	44
Tabla N° 9b.- Carga de Fundente	45
Tabla N° 10.- Descripción del Proceso Minería Poderosa	69
Tabla N° 11.- Comparación de los Métodos de Refinación	70
Tabla N° 12.- Selección de los Métodos a evaluar	76
Tabla N° 13.- Para determinación de la ley del lingote	80
Tabla N° 14.- Cantidad de oro a refinar	93
Tabla N° 15.- Diferencias de procesos en los Métodos seleccionados	104
Tabla N° 16.- Muestra las composición en % de impurezas del oro Refogado de Benditani	105
Tabla N° 17.- Muestra las composiciones en % de los elementos químicos presentes	107
Tabla N° 18.- Pureza del Mineral Refinado	124
Tabla N° 19.- Costo de Insumos Proceso Ácido Nítrico	125
Tabla N° 20.- Costo de Energía proceso Ácido Nítrico	125
Tabla N° 21.- Costo de Personal Proceso Ácido Nítrico	126
Tabla N° 22.- Costo Total Proceso Ácido Nítrico	126
Tabla N° 23.- Costo de Mineral Refinado Proceso Ácido Nítrico	126
Tabla N° 24.- Costo de Insumos Proceso con Agua Regia	127
Tabla N° 25.- Costo de Energía Proceso con Agua Regia	127
Tabla N° 26.- Costo de personal con Agua Regia	128
Tabla N° 27.- Costo total Proceso con agua Regia	128
	15

Tabla N° 28.- Costo de mineral refinado Proceso con Agua Regia	128
Tabla N° 29.- Costo de Insumos Proceso con Agua Regia con Incuarte	129
Tabla N° 30.- Costos de energía Proceso con Agua Regia con Incuarte	129
Tabla N° 31.- Costo de personal proceso con Agua Regia con Incuarte	130
Tabla N° 32.- Costo Total Proceso con Agua Regia con Incuarte	130
Tabla N° 33.- Costo de mineral refinado proceso con Agua Regia con Incuarte	130
Tabla N° 34.- Costo de Insumos Proceso Outokumpu Modificado	131
Tabla N° 35.- Costo de Energía Proceso Outokumpu Modificado	131
Tabla N° 36.- Costo de Personal Proceso Outokumpu Modificado	132
Tabla N° 37.- Costo Total Proceso Outokumpu Modificado	132
Tabla N° 38.- Costo de mineral refinado proceso Outokumpu Modificado	132
Tabla N° 39.- Resumen de Purezas alcanzadas en las refinaciones	133
Tabla N° 40.- Resumen de costo por gramo	134
Tabla N° 41.- Resumen de eficiencias alcanzadas	135
Tabla N° 42.- Variedades de Oro en la Región Puno y Posibilidades de Refinación	137
Tabla N° 43.- Implementación de equipos	143
Tabla N° 44.- Materiales y reactivos	144
Tabla N° 45.- Costos Indirectos	145
Tabla N° 46.- Costo Total de la Evaluación	145
Tabla N° 47.- Seguridad y Medio ambiente en las áreas de laboratorio de la empresa	147
Tabla N° 48.- Comparación de Grados de Oro fino	152

RESUMEN

La presente tesis trata sobre las experiencias adquiridas en refinación de metales preciosos tales como el oro y la plata.

El trabajo en si consiste en la comparación en eficiencia y costos de cuatro procesos por vía química de refinación de Oro para la instalación de pequeñas plantas de refinación de oro para la zona Sur del País.

Podemos agregar también, que el contenido es muy detallado, puesto que la investigación fue con la finalidad de poner en conocimiento las cosas principales para el desarrollo de una pequeña refinería de oro.

Se ajunta planos para llevarlo a un nivel industrial, también de balances que se hace en un laboratorio de refinación, también un procedimiento general en la refinación a modo de Flow Sheet, información para realizar el control de calidad por absorción atómica y microscopia.

Por ultimo se acompaña las observaciones, conclusiones, bibliografía y anexos.

INTRODUCCION

La refinación de oro en la Pequeña, Mediana Minería y Joyería, es una actividad pocas veces aplicada por desconocimiento en el mayor de los casos y por falta de servicios en esta área de trabajo, el hecho de estudiar las técnicas usadas en la refinación de oro para este sector importante, nos permitirá definir posibles soluciones que esperamos sean acogidas por la gente ligada a esta actividad.

Durante muchos años se han venido aplicando diversos tipos de refinación de oro. El valor comercial depende del grado de utilidad que se puede dar a este, la exigencia que se hace para Joyería Industrial es verdaderamente rigurosa en cuanto a la ley final de joya obtenida, siendo intolerable errores en su ley. En Minería Informal, se acude muy poco al refino del oro, debido a la venta directa a los acopiadores de la zona, o a una Joyería Industrial, consideremos también al oro malogrado por su manipulación durante su amalgamación, causado mayormente por otros minerales presentes en él. Lo cual hacen que su venta sea por debajo de su precio comercial.

Determinando los costos operativos y las leyes finales alcanzadas, son aspectos que nos permitirán cuantificar eficiencia de trabajo y también posibilidades de negocio en sector muy importante de nuestra economía regional

CAPITULO – I

FUNDAMENTACION DE LA EVALUACION

1.1. Definición del Problema

Algunas variedades de oro refogado proveniente de la pequeña minería aurífera de la Región Puno, presenta dificultades en la comercialización de oro, cuando tiene impurezas causada por la presencia de otros minerales, lo que conlleva a formar oro refogado negro que a simple vista no tiene mayor valor comercial, la falta de tecnología y conocimiento en este sector imposibilita soluciones inmediatas para estos problemas.

1.2. Objetivos

1.2.1 Objetivo General

- Identificar un método de fácil aplicación para la refinación de oro.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Evaluar métodos clásicos de refinación de oro (Proceso con Acido Nítrico, Proceso con Agua Regia, Proceso con Agua Regia previa Incuartación, Proceso Outokumpu modificado)
- Determinar la eficiencia de recuperación, la ley final de mineral procesado así como el costo del mismo.
- Realizar un análisis comparativo de los métodos evaluados.

1.3. Hipótesis

“La refinación de oro permite obtener oro de alta pureza, existe correlación directa en su uso, si el producto final es muy caro o la ley alcanzada es muy baja”

1.4. Justificación

1.4.1 Justificación Técnica

- La evaluación propuesta busca, mediante la aplicación de la teoría y conceptos básicos de la Ingeniería Química, encontrar soluciones para el caso de oro refogado negro en los diferentes tipos de mineral aurífero que hay en la Región Puno.
- No se han efectuado trabajos de esta naturaleza en la Región Puno, pero la experiencia con pequeños mineros nos permitió definir este inconveniente.

1.4.2 Justificación Económica

- El oro refogado negro, una vez refinado tiene un valor comercial real, puesto que la compra del oro en la ciudad de Juliaca se efectúa según la vista y por experiencia de trabajo.

1.4.3 Justificación Social

- Este anteproyecto permitirá establecer técnicas de refinado de oro que pueda ser usada fácilmente por gente ligada a la pequeña minería y joyería.

1.5 Alcances

Ha de evaluarse 4 métodos de refinación de oro, partiendo de un mineral inicial de ley conocida para todos los métodos.

El principio de estos métodos se basa en el uso de un ácido muy oxidante que realiza la lixiviación de los minerales que están como impurezas, y un complejante: Agua Regia, que realiza la lixiviación del oro que está junto con las impurezas, realizando una cementación selectiva para cuando se desea precipitar el oro.

1.6 Breve Descripción de Suri Gold

La Empresa SURI GOLD E.I.R.L, tiene como principal actividad la refinación de oro doré, bullión u oro fino; asimismo, realiza actividades de compra, acopio, exportación análisis de metales preciosos así como tratamiento de relaves. SURI GOLD. Se encuentra inscrita en la partida N° 11004181 del Registro de Personas Jurídicas en la Oficina Registral Regional Puno, RUC N° 20406312756

La Empresa SURI GOLD centra sus actividades en la ciudad de Juliaca desde el año 2002, los servicios que brinda SURI GOLD están destinados a la pequeña minería y minería informal así como a Joyeros de la ciudad de Juliaca, la capacidad operativa de SURI GOLD para refinar oro es de 5 Kg. por día, esta considerado como una pequeña refinería de oro, los servicios de laboratorio químico se hace a través de terceros en la misma ciudad de Juliaca. Los principales productos de SURI GOLD son: oro fino de 99.93% de ley y como subproducto está la plata, el volumen de producción varía de acuerdo al requerimiento de servicios de refinación.

En el anexo 3 se adjunta un plano del Proyecto de Ampliación de la Refinería de SURI GOLD.

CAPITULO – II

REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1 Generalidades

En este capítulo se hace una revisión bibliográfica de los procesos de refinación de oro, a su vez se hace un compendio de todo los términos que abarca la refinación de oro y los materiales que se emplearon en esta evaluación. (Ver también glosario Anexo N° 1)

2.2 Materia Prima

Nuestra materia principal ha de ser el oro, a continuación se hace referencia de este mineral.



Foto 1.- Variedades de Oro Refogado de Puno

Describiendo las variedades de Oro de la fotografía 1.

El de la Izquierda corresponde a Oro de ley 95, de la zona Peñón de Oro, Sandía.

El del medio corresponde a Oro de ley 93, de la zona de Benditani, Carabaya.

El de la derecha corresponde a Oro de ley 85, de la zona de Santa Lucia, Lampa.

2.2.1 Materia Prima Principal Oro



Foto 2.- Variedades de Oro Refogado de Puno

Describiendo las variedades de Oro de la fotografía 2.

El de la Derecha corresponde a Oro de ley 95, de la zona Peñón de Oro, Sandia.

El de la Izquierda corresponde a Oro de ley 85, de la zona de Santa Lucia, Lampa.

La procedencia del mineral como se mencionó anteriormente, es de mineros informales que trabajan en minería artesanal y la pequeña minería, el oro que se acopia viene por variedades dependiendo de la zona donde fue extraído, dependiendo de las impurezas podemos catalogar las leyes para la compra, por ejemplo si esta bien reluciente se paga mas por la compra, el comercio se hace en efectivo y el promedio para comprar un kilo de oro refogado esta en 12000 \$ (dólares Americanos)

Hago una descripción de como obtienen y procesan su Oro refogado de buena ley los mineros artesanales de Puno.

Los mineros informales que trabajan por la zona tienen una técnica antigua de cómo captar el oro, ellos cuando encuentran las venillas de oro en las rocas, lo tratan de extraer con ayuda de cinceles, combas y lanzones de hierro que le sirven para picar la roca, usan el pallaqueo que es una recolección de las rocas pequeñas con las manos, estas rocas son lo que sacan de sus perforaciones, lo juntan en

sacos y lo llevan a un sitio que ellos preparan, son unos quinbaletes enormes de piedra que les sirven como molino, lo reducen hasta convertirlo casi en un polvo arenoso, después hacen un lavado utilizando unas puruñas grandes haciendo movimientos circulares, el oro queda depositado en los extremos de la base en forma de arenillas, el lavado lo hacen en los riachuelos o en las pozas que ellos construyen por la lejanía a los ríos y de la zona donde esta el mineral, cuando ya tienen al oro captado en la base de las puruñas son recolectadas en un deposito que contienen mercurio, como sabemos el mercurio capta el oro cuando esta en un tamaño adecuado, siguiendo ese mismo procedimiento llegan a juntar cerca de 20 a 300 gramos semanal.

Dependiendo de la semana como han trabajado, cuando ya tienen una cantidad más o menos adecuada al recipiente donde esta el mercurio, lo llevan a un tratamiento de calentamiento para expulsar al mercurio por volatilización y quedarse al final con los granos de oro, lo realizan en retortas o algunos utilizan el soplete que es mas versátil y rápido su empleo, lo hacen a la intemperie, generalmente realizan esta operación sin tomar ninguna medida de seguridad ambiental.



Foto 3.- Minería Artesanal en Puno

Según la procedencia del Oro recolectado, vienen acompañados de elementos químicos diferentes conocidos como impurezas, esto uno se da cuenta en el color final del oro que traen los mineros de pequeña minería y los mineros artesanales a las casas acopiadoras de oro en Juliaca, y estas a su vez juntan para venderlas a las Refinerías de Oro o sino a los Joyeros de la zona sur del Perú.

Nuestra materia prima principal es una variedad de oro denominada Benditani, una foto microscópica del mismo se tomo en los laboratorios de microscopia electrónica de la Universidad Nacional San Agustín



Foto 4. – Oro refogado de Benditani. Zona de barrido A.

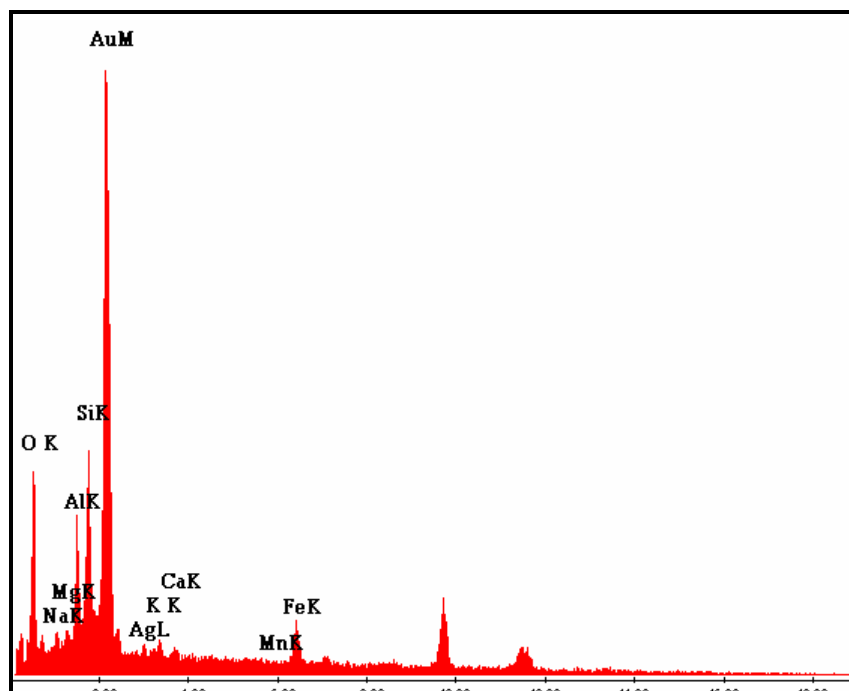
Tabla N° 1 Composición semi – cuantitativa Benditani

Elemento	Peso %
Au	92.97
Ag	1.28
Si	1.54
Al	0.34
Mg	0.15
Na	0.20
Otros	3.52
Total	100.00

Fuente : Centro de Microscopia Electrónica UNSA

Este análisis preliminar de esta variedad de oro nos permite establecer los minerales que acompañan a nuestra muestra, el hecho de determinar la presencia de estas impurezas podría definir aspectos sustanciales en cuanto a la presencia de otros metales preciosos, como son: la plata, el platino y el paladio, cabe el comentario al mencionar que cuando se compra el oro de un pequeño minero o de un Trading mediano, simplemente se paga por la cantidad de oro que hay en el, en el caso de existir otros

metales preciosos no son considerados dentro del precio final de compra. Estos metales preciosos podrían ser recuperados como subproductos y nos darían una utilidad adicional.



Gráfica 1.- Elementos Químicos del Oro Refogado de Benditani

Tabla N° 2 . Composición Cuantitativa del Oro Benditani

Elemento	Ley %
Au	94.82
Ag y otros	4.18
Total	100.00

Fuente : Elaboración Propia

La ley de este mineral es de 0.9482%, este análisis se realizó por el método clásico de copelación, la certeza de este método hace de él una técnica con mucha aceptación a nivel de pequeña y gran minería, además de la poca inversión que se requiere para instalar un laboratorio y su adaptabilidad al medio.

2.2.1.1. Definiciones Fundamentales Las definiciones se encuentran en un glosario de términos empleados en la refinación de oro, sírvase ver el anexo 1.

2.2.1.2. Mineralogía de los Minerales Auríferos

El oro es inerte en aire y agua a temperatura y presión normal. La ocurrencia predominante del oro es en forma nativa, a menudo aleado con alrededor del 15% de Ag, otros minerales de oro incluyen aleaciones con telurios, selenio, bismuto, mercurio, cobre, hierro, rodio y platino. No es común ocurrencias naturales de oro en forma de óxidos, silicatos, carbonatos, sulfuros o sulfatos.

El oro generalmente ocurre en una forma mineral diferente a la mayoría de los otros elementos, lo cual permite una extracción selectiva del oro de las otras formas del mineral.

Los granos de oro nativo han sido reconocidos que contienen alrededor de 99.8 % de oro. Pero la gran mayoría varía entre 85 – 95 % de oro, con la plata como la principal impureza. Gran parte del oro de la corteza terrestre se encuentra asociado a ganga silicia en filones o vetas, para lo cual es necesario en su tratamiento metalúrgico liberarlo de la ganga por medio de la molienda.

El oro puro tiene una densidad de 19 g/cm³, sin embargo típicamente el oro nativo tiene una densidad de 15 g/cm³. Por consiguiente, si lo liberamos de la ganga, podrá ser fácilmente recuperado por concentración gravimétrica a tamaños partículas sobre las 10 micras. Su distintiva alta reflectividad y baja dureza pueden ser usados también como medio de identificación.

Las definiciones se encuentran en un glosario de términos empleados en la refinación de oro, sírvase ver el anexo 1.a.

2.2.1.3. Tipos de Yacimientos Auríferos

Las definiciones se encuentran en un glosario de términos empleados en la refinación de oro, sírvase ver el anexo 1.b

2.2.1.4. Propiedades Físicas

Tabla N° 3 Propiedades del oro

PROPIEDADES	ORO
Símbolo químico	Au
Color	Amarillo
Peso Atómico	197
Número Atómico	79
Estado de oxidación	3.1
Densidad Específica	19.3
Temp. De Fusión C°	1063
Temp. De ebullición C°	2530
Temp. De vaporización C°	2808
Calor de fusión, cal/gr.	16.3
Dureza (Mohs)	2.5
Radio atómico, A°	1.46
Radio iónico. A°	1.37
Potencial normal, voltios	1.498
Resist. Eléctrica, MHm.	2.25
Electronegatividad	2.4

Fuente: Tecnología de Refinación de los Metales Preciosos

2.2.1.5. Propiedades Químicas

Es fácilmente soluble en agua regia o en otras mezclas que desprenden cloro. También lo disuelve el yodo en estado nascente y los cianuros.

No lo atacan el ácido clorhídrico ni tampoco el ácido nítrico solos

No lo atacan los álcalis fundidos

El ácido sulfúrico lo ataca por encima de los 300 °C

El oro se alea con gran facilidad con el mercurio (amalgama de mercurio). Calentando cuidadosamente la amalgama formada, se evapora el mercurio y queda el oro en forma esponjosa.

El Oro es el más "no-reactivo" de todos los metales, es benigno en todos los ambientes naturales e industriales. El Oro nunca reacciona con oxígeno o sea difícilmente se oxidará o se empañará.

2.2.1.6. Propiedades mecánicas

El oro es uno de los metales más dúctiles y se puede laminar hasta obtener hojas (panes de oro) de un espesor de 0.0001 mm., las cuales dejan pasar la luz tomando un color verde azulado, pero con la luz reflejada presenta su color característico. Se puede estirar en hilos finísimos, con un **gramo** se consigue un hilo de 2000 metros de longitud. Sin embargo, tiene escasa tenacidad, un hilo de 2 mm de diámetro se rompe al peso de 68.216 kg.

2.2.1.7. Usos

a.- Joyería

El principal componente de la demanda mundial de oro lo constituye el uso para fabricación de bienes (joyería, electrónica, odontología, entre otros), el que represento en 2002 el 79.8 por ciento de la demanda total del metal. Entre 1993 y 2001, este componente tuvo una participación promedio de 91 por ciento en el total de la demanda mundial de oro. En efecto, la demanda del oro para fabricación registro un crecimiento sostenido desde 1993 hasta el 2000, año en que se produjo un punto de inflexión con una tendencia descendente. En 2002 se produjo una caída en la demanda por fabricación del orden del 10 por ciento con respecto al año anterior. Es importante destacar que la demanda de oro para la fabricación de bienes se ha mantenido relativamente estable en los países industrializados, mientras que la de los países en desarrollo ha mostrado una tendencia creciente a partir de 1993. En dicho año, la demanda de los países industrializados era levemente superior (51%) a la de los países en desarrollo (49%). Desde entonces, esa tendencia se ha invertido: en 2002, los países en desarrollo tienen una participación de 60 por ciento, mientras que los países industrializados el 40 por ciento. El principal demandante mundial de oro para la fabricación de joyería y bienes industriales es la India, que utiliza 558 toneladas de oro y su participación representa 15 por ciento en el total de la demanda mundial. La demanda de la India tuvo un crecimiento sostenido entre 1993 y 1998, al pasar de un volumen de 282 toneladas a 720 toneladas. A partir de 1998 la demanda se mantiene relativamente estable, con muy leves cambios, Sin embargo, en 2002, se registró una caída del 9 por ciento, debido a la recesion que se produjo en el país en ese año.

El segundo demandante de oro es Italia, con una participación de 13,5 por ciento en el total mundial. Los volúmenes demandados por este país para la fabricación se han mantenido relativamente estables entre 1993 y 2002, al pasar de un nivel de 452,3 a 429,2 toneladas. Italia es un importante fabricante y exportador de joyas, especialmente a Norte América, la Unión Europea, Medio Oriente y América Latina. El hecho que Italia tenga un rol tan importante en la fabricación de oro, determina que Europa sea la región con la segunda mayor participación en la demanda mundial de este metal, con un 24,6 por ciento, precedida por Asia, con una participación de 60,4 por ciento. América del Norte tiene una participación en la fabricación mundial de oro de 8 por ciento, mientras que América Latina registra una participación de apenas 3 por ciento. África participa con el 3,7 por ciento, y Oceanía con 0,3 por ciento.

Estados Unidos es el tercer demandante de oro, con un volumen de 228,6 toneladas y una participación mundial de 7,2 por ciento. Los volúmenes de demanda de oro de Estados Unidos han permanecido relativamente estables durante el periodo 1993 – 2002. China, es el país que ocupa el cuarto lugar en la demanda mundial de oro, habiendo registrado un volumen de 204,5 toneladas en 2002, lo que implica una participación de 6,4 por ciento. La demanda china registro un incremento sostenido entre 1993 y 1997, al pasar de 196,4 a 288 toneladas. En 1997 se produjo un punto de inflexión caracterizado por una tendencia declinante que se expresa en una caída de la demanda de casi 30 por ciento entre 1997 y 2002.

Turquía, con 176,9 toneladas y Japón, con 146,6 toneladas en 2002, son los otros dos países que tienen importante participación en la demanda mundial de oro, con el 5,5 por ciento y 4,6 por ciento, respectivamente. La demanda de Turquía ha registrado un crecimiento promedio anual de 2,6 por ciento entre 1993 y 2002, pasando de un volumen de 136,8 a 176,9 toneladas. En cambio, Japón, ha registrado una caída importante en la demanda de oro, pasando de un volumen de 218,8 a 146,6 toneladas entre los años 1993 y 2002.

No todos los países consumidores de oro son a la vez los mayores fabricantes. Es el caso de India, el mayor consumidor mundial, que fabrica el 81 por ciento de su consumo, o el de Estados Unidos que fabrica el 70 por ciento de su consumo o el de Arabia Saudita que produce 69 por ciento de su consumo. En contraposición, hay países fabricantes donde el consumo es reducido, e inclusive, tiende a disminuir. Es el caso de Italia que, con una producción anual de 16,7 millones de onzas troy, es el mayor fabricante de oro del mundo después de la India, y consume apenas el 14,9 por ciento de lo que produce (2,50 millones de onzas troy anuales).

Lo mismo sucede con Japón, que fabrica 5,6 millones de onzas troy y consume poco más de la mitad (56,5 por ciento, equivalente a 3,15 millones de onzas troy).. Existen otros países en los que no se registra producción y, sin embargo, el consumo es importante como el caso de Pakistán con 3,43 millones de onzas troy anuales. Dentro del componente de la demanda para la fabricación, la joyería es el sector más importante, con una participación del 84 por ciento en 2002. Este nivel de participación de la joyería en la demanda de oro para fabricación, se ha mantenido estable entre 1993 y 2002. En el rubro de la joyería, los países en desarrollo tienen una participación mayor a la que registran los países industrializados.

b.- Electrónica

El segundo lugar en la demanda de oro para la fabricación es el sector electrónico, con una participación del 6,6 por ciento para dicho fin. A pesar de la importancia de su uso en la técnica, este es ínfimo si se lo compara con su uso en joyería. En este segmento de mercado se utiliza el oro por sus características físicas y químicas, no dependiendo la cantidad demandada del precio que por sus características físicas y químicas, no dependiendo la cantidad demandada del precio que alcance el metal, por cuanto el valor del oro contenido en el producto final es poco relevante en relación al valor total del producto. A modo de ejemplo, se calcula que un transbordador espacial contiene cerca de 41 kilogramos de oro que a los precios actuales representa cerca de 522 mil dólares, valor poco relevante en el costo total de fabricación. Los países industrializados demandan el 5,9 por ciento para su utilización en este sector, mientras que los países en desarrollo solo demandan para este fin el 0.6 por ciento.

c.- Odontología

El uso del oro en odontología representa el 2,17 por ciento de la demanda de la fabricación. Cabe señalar, que los países industrializados tienen mayor participación (2,03%) que la de los países en desarrollo, que apenas registran el 0.14 por ciento. Otros usos de la demanda de oro para la fabricación se destinan a la fabricación de medallas (1,75%), siendo la participación de los países industrializados (0.075%) menor a la de los países en desarrollo (1,68%). Adicionalmente, el oro es también demandado para la fabricación de monedas, con una participación de 2,17 por ciento de los requerimientos para la fabricación. En este caso, los países industrializados tienen una mayor participación en la demanda (1,56%), mientras que los países en desarrollo registran una participación menor de (0,6%).

b. Reserva de valor

Cerca de 1/4 de todo el oro que existe - 34.000 toneladas - es usado como parte de reservas internacionales de gobiernos, bancos centrales e instituciones financieras. Cerca del 16% de las reservas de los países e instituciones es oro.

c. Dinero

El Oro se legalizó como dinero ya en 1,091 A.C. en China como una alternativa a la seda. El Oro todavía es el único medio universalmente aceptado de intercambio. Millones de personas por el mundo siguen usando oro como una garantía contra la inflación y como una forma básica de economías y una reserva fiable de valor durante tiempos de incertidumbre económica o levantamiento político

d. Monedas

El oro ha sido reconocido como reserva de valor desde el inicio de su historia pero se cree que las primeras monedas fueron cuñadas en 670 A.C. por el Rey Gyges de Lydia, en Turquía. El rey Croesus acuñó monedas con 98% de oro en el año 550 A.C. Cerca de 500 años después Julio Cesar acuñó monedas para pagar la Legión Romana. Para inversionistas que le gustan invertir en oro, poseer monedas de oro es tanto conveniente como placentero. Las monedas tienen valor de dinero del país que las emite y su contenido de oro es garantizado. El valor nominal es apenas simbólico; su verdadero valor es dado por su contenido en oro. En general, el valor de mercado de las monedas es igual al valor del contenido en oro más 4 - 8%. Las monedas de oro son cuñadas en pesos de 1/20, 1/10, 1/4, 1/2, y una onza (cerca de 31 gramos). Las más populares monedas del mundo descritas de la siguiente manera.

American Eagle (1986 a la fecha) Disponible en tamaños de 1, 1/2, 1/4, y 1/10 de onzas troy.
Pureza: 0.916 o 22 kilates

Canadian Maple Leaf (1979 a la fecha) Disponible en tamaños de 1, 1/2, 1/4, y 1/10 onzas troy.
Pureza: 0.9999 o 24 kilares.

South African Kruggerand (1976 a la fecha) Disponible en tamaños de 1, 1/2, 1/4 y 1/10 onzas troy.
Pureza: 0.916 o 22 kilates

English Britannia (1987 a la fecha) Disponible en tamaños de 1, 1/2, 1/4 y 1/10 onzas triy. Pureza: 0.916 o 22 kilates

Australian Kangaroo (1989 a la fecha) De 1986 a 1988 Australia producía el Gold Nugget Coin; fue reemplazado en 1989 por la moneda Kangaroo. Disponible en tamaños de 1, 1/2, 1/4, 1/10, y 1/20 onzas troy. Pureza: 0.9999 o 24 quilates

Chinese Panda (1982 a la fecha) Disponible en tamaños de 1, 1/2, 1/4, 1/10 y 1/20 onzas troy. Pureza: 0.9999 o 24 quilates.

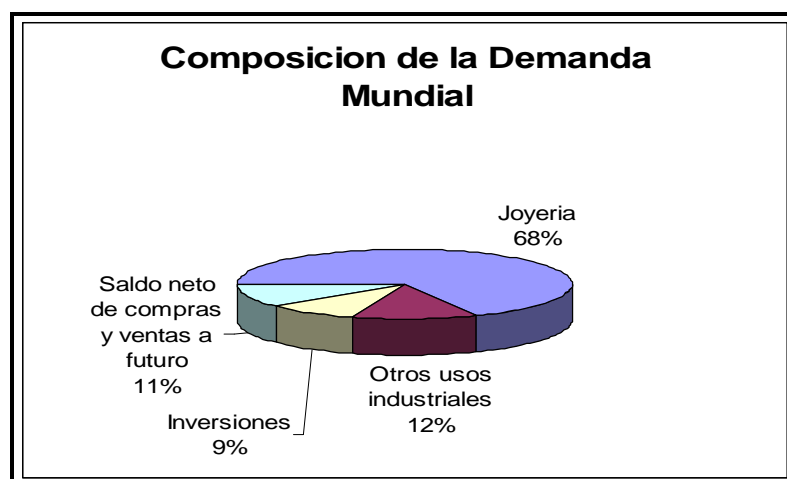
Austrian Philharmonic (1989 a la fecha) Disponible en tamaños de 1, 1/4 y 1/10 onzas troy. Pureza: 0.9999 o 24 quilates

Mexican Centenario Family (Oficial Govt. Restrikes) Disponible en tamaños de : 50 pesos: 1,2 troy oz. (1947), 20 Pesos: 0.48 troy oz. (1959), 10 Pesos: 0.24 troy oz. 5 Pesos: 0.12 troy oz. (1955), 2,5 Pesos: 0.06 troy oz. (1945), 2 Pesos: 0.04 troy oz. (1945) Pureza: 0.900 21,6 quilates

Mexican Onza (1981 a la fecha) Disponible en tamaños de 1, 1/2, y 1/4 onzas troy. Pureza : 0.999 o 24 quilates.

e. Otras aplicaciones

Otras aplicaciones para el oro incluyen placas decorativas, relojes, lapiceros, aros de anteojos y tapas de baños. También se utiliza para decoración de platos de porcelana. El más espectacular uso del oro es en los domos de techos de edificios. Recientemente el oro ha sido utilizado para revestir los vidrios de las ventanas de edificios, como forma disminuir los costos de calefacción y aire acondicionado.



Fuente: Elaboración del autor sobre la base de datos de GFMS

Grafico 2.- Composición de la Demanda Mundial

Tabla 4.- Demanda de Oro para fabricación para países industrializados y en desarrollo en 2002 (en toneladas)

	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Países Industrializados										
Joyería	1187,9	1167,5	1146,7	1104,8	1158,7	1146,8	1132,1	1125,7	1042,8	926,1
Electrónica	151	162,1	180	184,6	208,4	199,6	220,7	257,8	180,7	187,8
Odontología	56,4	57,7	61,9	62,5	65,6	60	60,9	64,5	63,8	64,6
Otros	70,5	73,2	76,6	77,1	75,6	68,1	61,7	59,9	55,1	49,2
Medallas	5,2	4,9	3,3	2,4	2,9	2,2	3,8	2,4	2,8	2,4
Monedas	99,8	58,2	59,9	47,5	82,5	110,2	115,6	30,2	39,2	49,6
Sub Total	1570,8	1523,6	1538,4	1478,9	1593,7	1586,8	1594,8	1540,4	1384,4	1279,6
Países en desarrollo										
Joyería	1371,4	1472,8	1665,3	1751,3	2152,8	2035,7	2021,5	2105,9	1995,5	1763
Electrónica	27,4	25,2	23,7	22,8	26,2	25,7	25,9	27,3	22,8	22
Odontología	7	6,2	5,4	5	4,5	4	5,2	4,5	4,3	4,6
Otros	29,1	30,5	32,9	35,4	39	35	37,1	41,2	45,8	33
Medallas	22,8	23,3	31,4	32,1	41,3	44,7	42,8	55,1	51,7	53,4
Monedas	21,5	14	16,9	15,5	16	16,7	17,6	17,6	17,1	19,3
Sub Total	1479,2	1571,9	1775,6	1862,1	2279,8	2161,8	2151,2	2251,5	2137,1	1895,2
Total Mundial	3050	3095,5	3314	3341	3873,4	3478,6	3744,9	3792	3521,6	3174,8

Fuente: Gold Survey, 2003, Gold Field Mineral Services.

2.2.1.8. Comercialización

Puno es una región históricamente minera, ya Antonio Raymondi en su celebre obra Minas de Oro del Perú, concluía que esta región presentaba un futuro alentador en este tipo de mineral. En la

actualidad Puno ocupa el sexto lugar en producción de oro a nivel Nacional. Hay presencia de mineros informales esencialmente en: San Antonio de Putina (Lunar de Oro, La Rinconada, Untura), Sandia (Peñon de oro, Arizona, Sina, Cuchilla, Ancocala, Aporoma, lavaderos en los rios), Carabaya (Coasa, Usicayos, Benditani, Colorado, Ollachea, Ayapata, Lavaderos en los rios), Lampa (Pinaya, Cabanillas, Santa Lucia) y últimamente yacimientos de reciente descubrimiento como. El de Santa Rosa (Minera Aruntani) en la Provincia de El Collao y el de la Rescatada (Anglogold Exploraciones del Perú) en Lampa que seguramente pondrán a esta región en mejor sitio en los años venideros.

El hecho de que exista la pequeña minería y la minería informal genera un promedio de 40000 puestos de trabajo en la Región Puno desarrollándose un comercio bastante fluido del oro en la ciudad de Juliaca, donde existen los “acopiadores” de oro, negocios dedicados a la compra del oro, proveniente de las minas de la Región y de otras regiones del sur peruano.

Dentro de los acopiadores existen Trading (definidos como acopiadores y exportadores de oro en cantidades significativas) que se encargan de llevar este oro a la ciudad de Lima y últimamente hay un Trading, que exporta oro a los EEUU y Europa.

A su vez hay una empresa dedicada a la fabricación de joyería industrial para exportación, siendo premiado el año 2002 como el principal exportador de joyas en el Perú Premio ADEX.

El precio de compra del oro se fija de acuerdo a los siguiente: cotización internacional del oro, ley del mineral, márgenes de ganancia de los acopiadores, precio del dólar así como mermas por fundición, en el Anexo 4 se muestra un ejemplo del precio del precio del oro por gramo. A lo largo de la historia de la humanidad, el oro no solo ha sido un medio de cambio, sino también, y sobre todo, una reserva de valor. El oro es un mecanismo adecuado para protegerse contra la inflación. Quienes optan por invertir en oro, pueden hacerlo de varias maneras: en la forma

Tradicional, comprando lingotes de oro en la forma de barras o monedas; comerciando el oro y los futuros de oro electrónicamente o, invirtiendo en acciones de empresas mineras o refinadoras de oro.

Centros de Comercialización.

El centro mas importante del comercio mundial del oro es el London Bullion Market, operado por la London Bullion Market Association (LBMA), cuyos miembros participan en la fijación del precio del oro que se realiza diariamente, dos veces al día, en Londres. Participan, además, otras “bullion houses” (un total de 14), y aproximadamente 50 miembros ordinarios. La mayor parte de ellas actúan como corredores para clientes y también como comerciantes primarios que disponen de posiciones propias, con el fin de generar ganancias de los márgenes de las subastas o de los movimientos de

equilibrio de los precios. El Mercado de Londres es el mayor mercado para el oro físico y, a la vez, uno de los más antiguos del mundo. El precio del oro se fija en este mercado desde el 12 de septiembre de 1919, y su cotización es usada como base de contratos en todo el mundo.

En efecto, con base al precio que se fija en el mercado de Londres se establecen otros tipos de contratos

de oro como los de futuros tales como el New York Market Exchange (NYMEX) de Nueva York. El mercado de Nueva York se destaca particularmente por el volumen de “transacciones de papel oro”. Es el caso de los contratos de futuros que son comerciados en el.

El segundo centro en importancia para el comercio del oro físico, es Zurich, cuya influencia en la determinación de los precios radica en la participación de tres de los más importantes bancos suizos: el Credit Suisse, Swiss Bank Corporation, y el Unión Bank of Switzerland. Cada uno de estos bancos mantiene sus propias refinerías, con reconocimiento internacional. Existen, asimismo otros importantes mercados del oro en Tokio, Sydney, Hong Kong, así como otros de menor importancia, que permiten que el oro sea comerciado las 24 horas del día.

El oro que se comercia en estos mercados se valora de acuerdo al peso y a estándares de calidad, los cuales crean un diferencial en los precios. El contenido de oro, es otro de los elementos en que se sustentan la diferencia de precios. Por ejemplo, la “London good delivery bar” tiene un requerimiento mínimo de 995/1000 partes de oro. Asimismo, se comercia oro con contenidos de oro de 9.999 partes de oro sobre 10.000 . La pureza del oro es importante para la industria. Los fabricantes de joyas pueden requerir oro en la forma de granos para facilitar su aleación, mientras que las empresas electrónicas, en general, requieren una pureza de 0.99999



Foto 5.- Reservas de valor

2.2.2. Materias primas secundarias

Las materias primas secundarias son:

2.2.2.2. Plata

a. Propiedades Físicas

Metal de color blanco brillante, más duro que el oro y menos que el cobre. Fundida al aire absorbe oxígeno que al solidificar lo expulsa violentamente arrojando parte de la masa fundida, este fenómeno se llama galleo y sólo ocurre cuando la plata es muy pura.

Tabla N° 5 : Propiedades de la Plata

PROPIEDADES	PLATA
Símbolo químico	Ag.
Color	Blanco
Peso Atómico	108
Número Atómico	47
estado de oxidación	1
Densidad Específica	10.5
Temp. De Fusión C°	961
Temp. De ebullición C°	1955
Temp. De vaporización C°	2212
Calor de fusión, cal/gr.	24.3
Dureza (Mohs)	2.7
Radio atómico, A°	1.44
Radio iónico. A°	1.26
Potencial normal, voltios	0.799
Resist. Eléctrica, MHm.	1.62
Electronegatividad	1.9

Fuente: Tecnología de Refinación de los Metales Preciosos

b. Propiedades químicas

- A la temperatura y presión ordinarias no se oxida.
- Los álcalis lo atacan muy poco.
- Lo disuelve fácilmente el ácido nítrico diluido o concentrado.
- También lo disuelve el ácido sulfúrico concentrado.
- Lo ataca el ácido sulfhídrico con formación de sulfuro y ciertos cloruros.
- No lo atacan los ácidos orgánicos.
- Se alea con la mayor parte de metales menos con el hierro y el cobalto y difícilmente con el níquel.

c. Propiedades mecánicas.

Después del oro es el más dúctil y maleable de todos los metales. Puede laminarse a panes de hasta 0.00025 mm. De espesor y con 0.1 gr. de plata puede obtenerse un hilo de 180 m.

d. Usos interesantes.

- Se emplea para la fabricación de monedas, alhajas, relojes, utensilios, domésticos y objetos artísticos.
- Se emplea también para el plateado galvánico de objetos, especialmente sobre cobre o latón.
- De sus compuestos el más importante es el nitrato del cual se parte para la obtención de todas las sales de plata.
- Su mayor aplicación es la aleación con otros metales y de estos especialmente el cobre y el oro.

2.2.2.3. Cobre

El cobre fue uno de los primeros metales empleados por el hombre. La utilización del cobre en tiempos remotos, es debida sin duda a la existencia de este metal en estado nativo, y fue sustituyéndose, tan pronto se vio su superioridad, a los útiles de sílex.

a. Propiedades Físicas**Tabla N° 6: Propiedades del Cobre**

PROPIEDADES	COBRE
Símbolo químico	Cu.
Color	Rojo
Peso Atómico	63.57
Número Atómico	29
Densidad Específica	8.93
Temp. de Fusión C°	1083
Temp. de ebullición C°	2310

Fuente: Los Metales en la Joyería. Jorge Alsina Benavente

b. Propiedades Químicas

- A la temperatura ordinaria el agua no ejerce acción sobre el cobre.
- Es soluble en ácido sulfúrico no muy concentrado y en agua regia. Se disuelve lentamente en ácido sulfúrico diluido y en presencia de aire. El ácido nítrico lo ataca muy rápidamente y en caliente el cloro y el ácido clorhídrico gaseoso. También es atacado por el amoníaco en presencia de aire.
- El hierro, el zinc y el aluminio precipitan el cobre de sus soluciones en forma de un depósito esponjoso, rojo oscuro. Puesto que el cobre es más electro-positivo que el oro y la plata, precipita a estos metales de sus soluciones salinas.
- El cobre se alea fácilmente con el oro, plata, estaño, zinc y níquel pero difícilmente con el plomo y con el hierro.
- Los agentes atmosféricos lo corroen fácilmente al principio, pero debido a la formación de una pátina, la corrosión se hace luego lenta

c. Propiedades mecánicas.

Las propiedades del cobre comercial están muy influenciadas por el trabajado al que se le someta y por ciertas impurezas que, entre ciertos límites pueden a veces mejorarlas, mientras que en otros casos las empeorarán

El cobre recocido no tiene límite práctico de alargamiento. Sometido a la acción de pequeños esfuerzos, muestra ya notables cambios de forma. Su propiedad mecánica más característica es su elevada facultad para el alargamiento

d. Usos

- Prácticamente forma parte de todas las aleaciones de oro, plata y platino.
- Bajo forma de sales también suele formar parte de la composición de algunos baños de oro de color.
- Forma parte de la composición de muchas soldaduras para metales preciosos.
- En la bisutería fabricada con Zámak. Los baños de cobre alcalino y ácido constituyen una fase intermedia para los posteriores de níquel y dorado o plateado.
- Aleado con zinc da lugar a una amplia gama de latones entre los que se encuentran el tombak (< 28 % Zn) y el Similar (Aleación fundiendo zinc con 3, 4 o más partes de cobre, y que tiene el color y brillo del oro).
- Aleado con estaño da lugar a una amplia gama de bronce.

2.2.2.4. Ácido Nítrico

El ácido nítrico es un ácido cuyo color varía de incoloro a amarillo pálido, de olor sofocante. Se utiliza en la síntesis de otros productos químicos como colorantes, fertilizantes, fibras, plásticos y explosivos. Es soluble en agua generándose calor. No es combustible, pero puede acelerar el proceso de combustión de materiales combustibles y causar ignición.

El ácido nítrico se encuentra clasificado por la Organización de las Naciones Unidas y por la EPA como un agente corrosivo

a. Propiedades físicas y químicas

- El ácido nítrico se descompone con cierta facilidad, generando óxidos de nitrógeno, muy tóxico.
- El ácido nítrico reacciona con álcalis, óxidos y sustancias básicas, generando sales. Es un oxidante fuerte. Es un ácido muy oxidante.

- Se ha informado reacciones violentas entre el ácido nítrico y ácido y anhídrido acético, acetona, Acetonitrilo y alcoholes, por lo que no se recomienda para limpiar material de laboratorio.
- Ácido nítrico además reacciona violentamente con: 2-aminotiazol, amoniaco, aminas aromáticas, derivados benzotiofeno, pentafluoruro de bromo, butanetiol, celulosa, nitruro de cobre, crotonaldehido, ciclohexilamina, flúor, hidracina, hidrocarburos en general , yoduro de hidrógeno, acetiluros metálicos, salicilatos metálicos, 4-metil ciclohexanona, nitrobenceno, nitrometano, hidruros no metálicos, derivados de fosfina, dióxido de azufre, tioaldehidos, tiocetonas, Triazinas, trementina, madera y otros productos celulósicos, especialmente si están finamente divididos.
- El ácido nítrico ataca a la mayoría de los metales, excepto platino y oro, y en el caso del aluminio y cromo, los ataca muy levemente. Algunos metales son convertidos en óxidos, como ocurre con el caso del arsénico, antimonio y estaño, otros son convertidos a nitratos.
- El ácido nítrico no polimeriza.
- El ácido nítrico no es combustible, sin embargo facilita la combustión de otras sustancias.

Tabla N° 7 : Propiedades del Ácido Nítrico

PROPIEDADES	ACIDO NITRICO
Punto de congelación °C	- 41
Punto de ebullición °C	121
Presión de vapor K.Pa (20°C)	6.4
Densidad relativa g/cm ³	1.41
Solubilidad en agua	Soluble en todas las proporciones, con reacción exotérmica.
Solubilidad en solventes orgánicos	No disponible, sin embargo, Reacciona con solventes orgánicos como etanol.
Estabilidad en agua	Estable a temperatura ambiente, inestable a Altas temperaturas.
Inflamabilidad	No inflamable
Propiedades oxidantes (Corrosividad)	Oxidante fuerte.
Viscosidad cP (20°C)	2

Fuente: International Chemical Safety Cards

2.2.2.5. Ácido Clorhídrico

a. Propiedades físicas y químicas

Disuelve a todos los metales (excepto a los metales nobles) y óxidos metálicos. Reacciona con los metales que están por encima del hidrogeno en la serie de potencial eléctrico formando cloruros y con los óxidos e hidróxidos metálicos. Disuelve al plomo cuando está concentrado, clora los hidrocarburos saturados y no saturados por adición y por sustitución. Descompone la zeolita y las escorias para dar ácido silícico. Reacciona con los carbonatos básicos poniendo en libertad el gas carbónico y agua. Neutraliza las soluciones alcalinas y actúa como agente hidrolizante con los carbohidratos. Desplaza al ión ácido de muchas sales tales como fosfatos y boratos. El ácido gaseoso a elevadas temperaturas ataca a penas al hierro. El gas anhidro no es corrosivo, pero su sal acuosa es uno de los ácidos fuertes y de gran actividad química. El gas es soluble en alcohol, aldehídos, éteres, esteres y es absorbido por el carbón activado. Reacciona violentamente con: anhídrido acético, alcohol + cianuro de hidrógeno, hidróxido de amonio, carburo de calcio, fosfuro de calcio, 2-amino etanol, ácido clorosulfónico, etilendiamina, oleum, ácido perclórico, óxido de polipropileno, perclorato de plata + tetracloruro de carbono, ácido sulfúrico, acetato de vinilo, metales alcalinos (Na, K, Li, Cs), Hg, Ag, Au, Pt, Ta, aleaciones de cobre. Mezclado con formaldehído genera el bis clorometil éter que es un potente cancerígeno humano.

Tabla N° 8: Propiedades del Ácido Clorhídrico

PROPIEDADES	ACIDO CLORHIDRICO
Color	Incoloro, amarillo
Olor	Picante, irritante
Temperatura de fusión °C	-46.2
Punto de ebullición °C	90
Punto de fusión °C	-114
Presión de vapor a (20° C y 30%) mm Hg	15
Densidad relativa	1.19
Densidad del liquido gr / cc	1.19
Densidad de vapor	1.257
Solubilidad en agua (alcohol, éter, benceno) gr/lt	823
Calor de fusión cal/mol	476
Calor de vaporización cal/gr	98.6

Fuente: International Chemical Safety Cards

2.2.2.6. Bisulfito de Sodio

De fórmula NaHSO_3 , llamado también sulfito ácido de sodio, de peso molecular 104.07. es un compuesto blanco que forma cristales monoclinicos con una densidad 1.48, huele a gas sulfuroso.

Expuesto al aire pierde algo de este gas y gradualmente se oxida convirtiéndose en sulfato de sodio, es un poderoso agente reductor en la industria metalúrgica, solubiliza ciertos colorantes, posee solubilidad ligera en el agua fría, en caliente es totalmente soluble.

Bisulfito de sodio (Líquido)

Metabisulfito de sodio (Sólido)

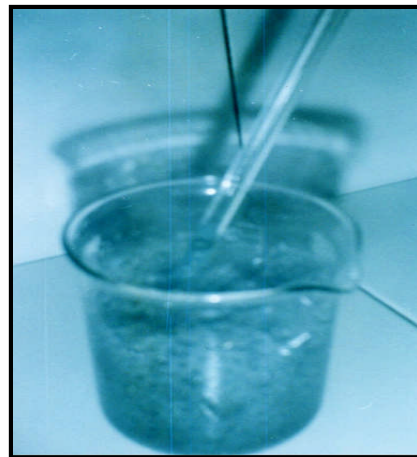


Foto 6: Reacción del Bisulfito de sodio

2.2.2.7. Bórax

- El bórax tiene una densidad de 1.73. Funde a 75 °C. Empieza a perder agua a 60 °C y la elimina totalmente a los 200 °C. Funde como bórax anhidro a los 741 °C y a los 1575 °C se descompone.
- El bórax, que en realidad es borato de sodio, es la sal más importante del ácido bórico y se presenta bajo forma de cristales, más o menos grandes y transparentes, o como polvo blanco.
- Cuando se calienta, el bórax se funde y se va inflando hasta perder el agua que lleva incorporado. Una vez fundido puede ser vaciado en moldes y dejar que solidifique.
- El contenido de agua del cristalizado es del 47% y éste es el motivo de que se hinche demasiado.
- Al perder el agua, el bórax cristalizado se convierte en bórax anhidro al que se le llama también bórax usto.

- El bórax usto o anhidro, fundido, disuelve los óxidos dando, como en el caso del ácido bórico metaboratos.
- El bórax disuelve los óxidos de hierro, cobre, estaño, zinc, cadmio, silicio, plata y níquel. No disuelve el carbono ni el grafito

2.3. Refinación de Oro

El Oro es uno de los primeros elementos conocidos por el hombre y desde ese primer momento ha despertado un inusitado interés, tanto por su utilización como moneda, por sus usos decorativos o por su uso en otros campos.

Por otra parte, incluso en el siglo XIX, el oro simplemente se recogía de los yacimientos, y al ser lo suficientemente maleable se conformaba hasta obtener las joyas o el material pertinente, sin necesidad de un proceso de refino.

Los primeros métodos que refinaban este metal eran procedimientos pirometalúrgicos, como la copelación, que aunque podían eliminar los metales menos valiosos, por ejemplo los metales base, no eran capaces de recuperar o eliminar a los otros metales preciosos, en particular la plata, por lo que el oro que se obtenía no presentaba una elevada pureza, valor que podía variar entre números tan dispares como 65 a 90 %.

Pese a todo, estos procesos considerados como clásicos se han venido utilizando con asiduidad por los principales países productores de este metal, y no es hasta este último cuarto de siglo cuando se ha desarrollado nuevos procesos. Estos han pretendido cambiar completamente la tecnología y los procedimientos para la recuperación de este metal precioso y estimado

Consideraciones a tener en cuenta en el refino de oro

Generalmente, se asume que los procesos de refino de este metal empiezan cuando ya se tiene un material en el que el contenido de oro empieza a ser importante. Normalmente, y antes del proceso de refino, no existe un control muy estricto respecto a las impurezas que acompañan al oro, y estas restricciones solo conciernen al cobre y a los materiales carbonaceos, que consumen al agente de lixiviación, cianuración, y contribuyen a la propia destrucción del agente de lixiviación en exceso.

Por lo tanto, las restricciones en cuanto al control y eliminación de las impurezas solo se empiezan a considerar cuando comienza el proceso de refino del metal.

Las materias primas que alimentan estas plantas de refino proceden entonces de:

- ♦ Operaciones de minería propias del metal.
- ♦ Lodos anódicos procedentes de la recuperación de otros metales.

En el primer caso, normalmente se emplea un proceso de cianuración, a partir del cual se cementa con zinc, el cemento obtenido se trata, en una primera operación con ácido sulfúrico de distintas concentraciones (10 a 70 %) con objeto de eliminar el zinc presente en el solidó. Si el contenido de cobre es importante también se adiciona MnO_2 . El producto obtenido se funde para dar lugar a un oro de primera fusión, que es el material al que se le hace el refino final.

Como ejemplo de esta operación, la **Tabla 9.a** muestra una carga típica de la misma.

Compuesto	%
Na_2CO_3	5
$Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$	6
CaF_2	5
SiO_2	3
Oro	resto

Fuente : Rev. Metal Madrid 31(3) 2000

Si el precipitado aurífero que se obtiene esta puro, especialmente si no contiene cobre, se puede mezclar directamente con el fundente en una proporción del 50% de cada uno. En estos casos la composición del fundente es la que se muestra en la tabla 7.b

Se funde la mezcla formada por el fundente y el oro, se eliminan las escorias y el oro se obtiene como un botón. Este se vuelve a fundir y se elimina el plomo restante antes de darle un último tratamiento con bórax. Esta última etapa debe conducir a un producto que después de moldeado se lleva a la última fase de refino.

Las plantas modernas que emplean tecnologías de carbón en pulpa y lixiviación – adsorción, CIP y CIL respectivamente, no producen el cemento de oro; en general, el oro se obtiene por electrolisis de las disoluciones auríferas procedentes de los procesos de elusión de carbón. El oro se obtiene como cátodo, que es tratado, en cualquier caso, de una manera similar a la forma mencionada para el

cemento y dando como producto final un oro listo para un último tratamiento de refinación. En algunos casos, el cátodo aurífero se lixivia con ácido sulfúrico con el fin de separar el hierro y los metales base; el producto final es un material en forma de arena, que se refina tal y como se obtiene, o se moldea como varilla antes de ser enviado a la refinación.

Tabla 9.b Carga de Fundente

Compuesto	Na ₂ CO ₃	Na ₂ B ₄ O ₇ ·10H ₂ O	CaF ₂	SiO ₂	KNO ₃	MnO ₂
%	10	35	3	12	20	20

Fuente : Rev. Metal Madrid 31(3) 2000

En el segundo de los casos mencionados, es decir, en el tratamiento de lodos anódicos procedentes de la recuperación de los metales base, como norma, se tratan los lodos de forma que se recuperan los productos secundarios. Estos tratamientos incluyen procesos de eliminación de cobre o níquel con ácido sulfúrico, la eliminación de selenio y telurio, elementos que se complican la obtención de oro en los procesos de refinación, en algunos casos, la eliminación del plomo. Posteriormente, el material resultante se trata en hornos con el fin de separar la plata, que se lingotea como ánodos. Este metal se recupera mediante electrolisis empleando nitrato de plata como electrolito. El procedimiento de obtención de plata hace que también se obtengan lodos anódicos que contienen oro y restos de los metales preciosos; estos lodos sirven para alimentar las refinaciones de obtención de oro.

En este capítulo se describe lo que es la Refinación de Oro, aparte de su conocimiento de otros procesos de refinación.

2.3.1. Refinación Química del Oro.

Uno de los procesos más antiguos para separar el oro de la plata y los metales base, usualmente asociados con él, fue por la partición con ácido nítrico. Como el ácido nítrico no puede atacar completamente cualquier aleación de oro, a no ser de que el contenido de oro no exceda el 30%, en este caso la plata (o cobre) debe ser deliberadamente aleada con el bullión de oro para permitir que se "parta" completamente. El oro no es atacado, la plata y el cobre respectivamente forman nitratos solubles. Las reacciones son acompañadas por la evolución de gases de óxido nítrico NO, el cual se combina con el oxígeno del aire para producir gases marrones densos de NO₂ y N₂O₄. Si la relación del oro y la plata más los metales base está en un exceso de 1:2 1/2, el doré queda sin reaccionar, y a una relación inferior de 1 de oro a 2 1/2 de plata más metales base, es posible producir un residuo marrón claro de oro fácilmente manipulable.

También, cabe mencionar que para el tratamiento de las amalgamas conteniendo metales preciosos, lo primero que se hace es refogar en retortas convenientemente diseñadas a fin de recuperar o atrapar el mercurio contenido, evitando de esta manera la contaminación ambiental.

2.3.1.1. Proceso de Incuartacion

En la separación de oro y plata se pueden presentar tres casos diferentes:

- Que el contenido de oro de la aleación esté por encima de las 285 milésimas.
- Que el contenido de oro este comprendido entre 250 y 285 milésimas.
- Que el contenido de oro esté por debajo de las 250 milésimas.

Siendo primordial que para la disolución de los metales que acompañan al oro; el título del oro a afinar (doré) esté comprendido entre las 250 y las 285 milésimas. Si el oro se encuentra en proporción mayor al límite indicado, la dificultad en la disolución de las impurezas se acrecentará a medida que se aleje de él, hasta hacerse prácticamente inerte a la acción del ácido nítrico. Por otro lado, en el caso contrario, si la proporción de oro no alcanza los límites indicados, el metal quedará reducido a un polvo muy fino pudiendo dar lugar a una pérdida considerable, si no se toman las debidas precauciones. Entonces el proceso de incuartación consiste en obtener una aleación con contenido de oro entre los límites de 250 a 285 milésimas, ello se realiza mediante la adición de plata y/o cobre de calidad garantizada.

2.3.2. Métodos de Refinación de Oro

2.3.2.1. Proceso con Acido Nítrico

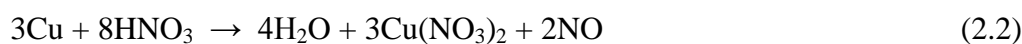
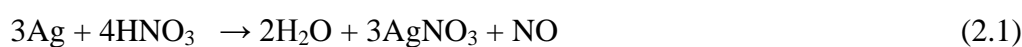
El ácido nítrico es un eficiente reactivo para abordar la disolución de los metales base y la plata que puedan acompañar al oro; sin embargo, el oro contenido en el material de partida no debe exceder el 30% para no perder eficiencia del proceso.

El ataque se realiza hasta conseguir la total disolución del cobre y la plata; esta reacción produce desprendimiento de vapores nitrosos, cuyo cese indica la culminación de la reacción por agotamiento del ácido nítrico o por saturación de la solución con iones metálicos. El residuo marrón oscuro que permanece en el fondo del recipiente es el precipitado de oro o cemento de oro. Este cemento de oro, dependiendo de su pureza, directamente puede ser lavado, secado y fundido, o de lo contrario es disuelto con agua regia para lograr la completa purificación. Cabe anotar que el ácido nítrico, además del oro, no logra disolver el platino, el rodio, ni el iridio.

De la disolución resultante, la plata se recupera mediante precipitación como cloruro de plata, seguido de una etapa de cementación del residuo clorurado con zinc o hierro. El residuo que queda después de la lixiviación con ácido nítrico se lava con ácido clorhídrico y se funde

La disolución o disgregación de metales preciosos se lleva a cabo en lugares convenientemente dotado de un sistema de evacuación de los vapores tóxicos y estufas de calentamiento con control térmico. El Diagrama 1 representa un flujograma con las principales operaciones que se realizan en la separación del oro y la plata usando el ácido nítrico.

Las reacciones fundamentales que ocurren con la plata y el cobre son:



Algunas desventajas que posee este proceso son:

- La formación de compuestos del tipo NO_x , que es necesario recuperarlos y reciclarlos.
- La aleación de la plata con el oro si el contenido de este último es superior al 30%.
- La presencia de ciertas impurezas que como el arsénico, antimonio y estaño no se eliminan fácilmente con el ácido nítrico.

La ventaja de este sistema reside en que el oro no abandona nunca su estado sólido y por lo tanto cualquier error podrá dar lugar a que la eliminación de las impurezas o de los metales no deseables no sea completa y que, el resultado final, sea un oro con el título mas bajo de lo deseable pero lo que no puede suceder, es que se tengan pérdidas por no hacer lo correcto y que precipite un metal disuelto con anterioridad. Con este procedimiento, en caso de error, basta con volver a comenzar y las únicas pérdidas posibles son las debidas a un descuido en los lavados y que se vaya el oro junto con las aguas procedentes de los mismos, lo cual se puede evitar fácilmente por medio de un filtrado.

Insistiendo sobre lo dicho con anterioridad, antes de proceder al afinaje, si se desea evitar problemas, sera necesario un análisis para determinar el título del metal que se pretende afinar, tanto para estar seguro de lo que va a salir como para saber que es lo que habrá de añadir para estar dentro de unos límites óptimos de trabajo. El lingote resultante será oro fino de 990 a 998 milésimas. Tanto mas puro cuanto mas cuidado se haya dedicado a cada una de las operaciones.

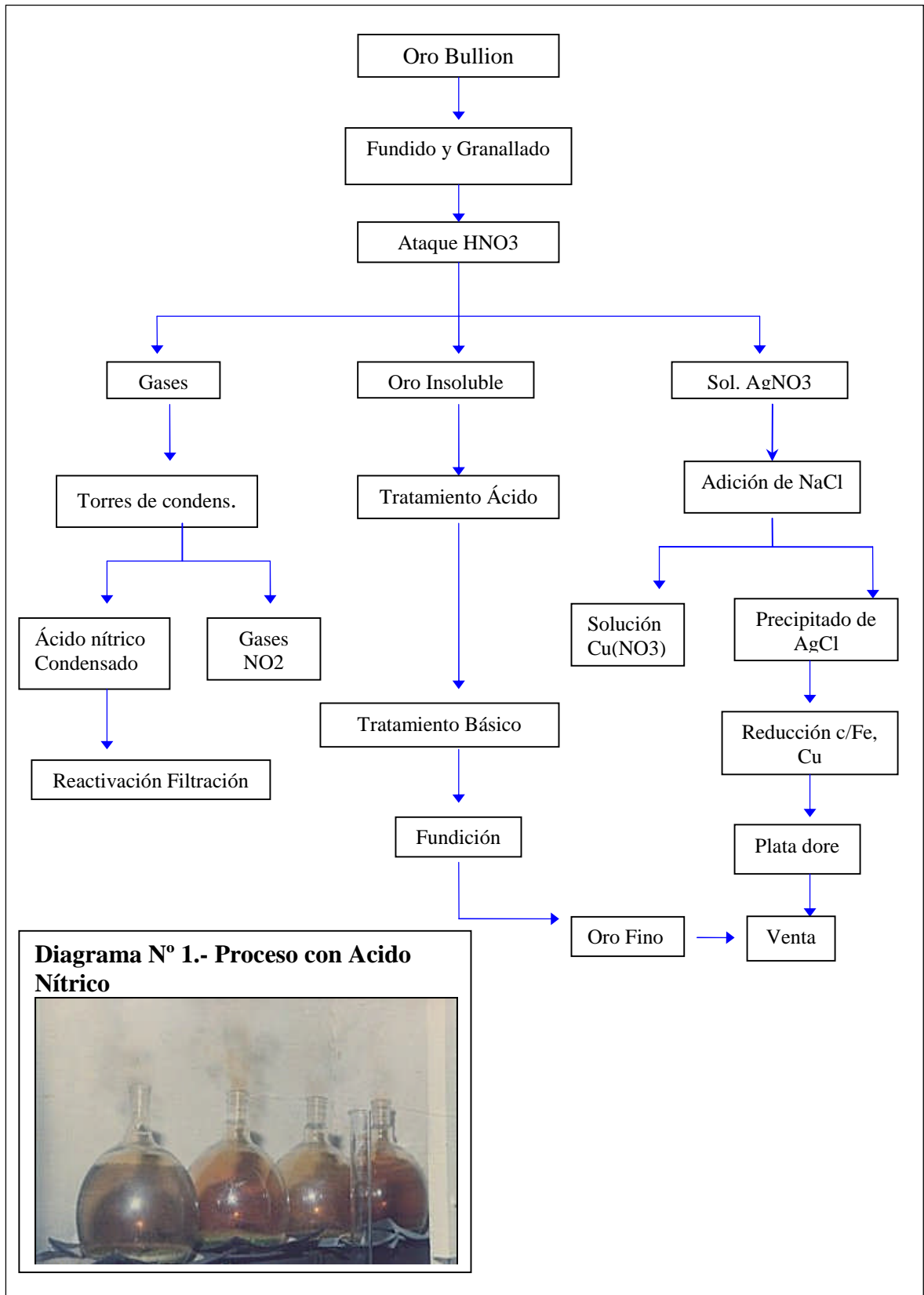




Foto 7.- Ataque con HNO₃



Foto 8.- Emanación de gases Nitrosos



Foto 9.- Lavado del recipiente donde hubo la reacción



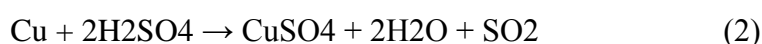
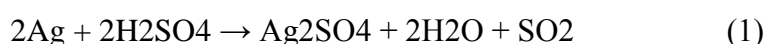
Foto 10.- Sedimentación y decantación del cemento de oro



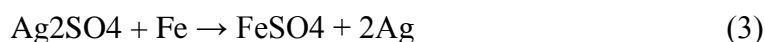
Foto 11.- Instalación de los recipientes para la purificación final

2.3.2.2. Proceso con Acido Sulfúrico

En el tratamiento de minerales concentrados con altos contenidos de metal base, como en este caso altos contenidos de cobre, al fundirlo atrapan a los metales preciosos. El cobre producto de la fundición es sometido a la partición con ácido sulfúrico a fin de extraerlo electrolíticamente puro, quedando el oro y los metales mas nobles en forma de barras anódicas, los metales menos nobles se disolverán y ensuciaran el electrolito.



El sulfato de plata es insoluble en agua fría, por lo que se hace necesario enfriar el licor y separarlo. Este sulfato posteriormente se reduce con hierro, según la siguiente reacción:



También puede ser reducido con cobre según la ecuación:



La solución remanente de sulfato de cobre es evaporada y cristalizada (cristales azules de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), obteniéndose un sub – producto adicional.

Entonces los metales preciosos que originalmente se hallaban en los ánodos, en el transcurso de la electrolisis caen al fondo de las celdas, los que son retirados periódicamente para su respectivo tratamiento dependiendo de su composición. Estos lodos anódicos con alto contenido de oro (que a veces excede el 90%) pueden ser lixiviados con ácido nítrico, ácido sulfúrico concentrado, o directamente fundidos (con una carga adecuada de fundentes) para su posterior comercialización o refinación electrolítica.

La tensión utilizada en la electrolisis varia con la densidad de corriente, que a su vez depende de la resistividad de la solución y de la concentración de la acidez libre.

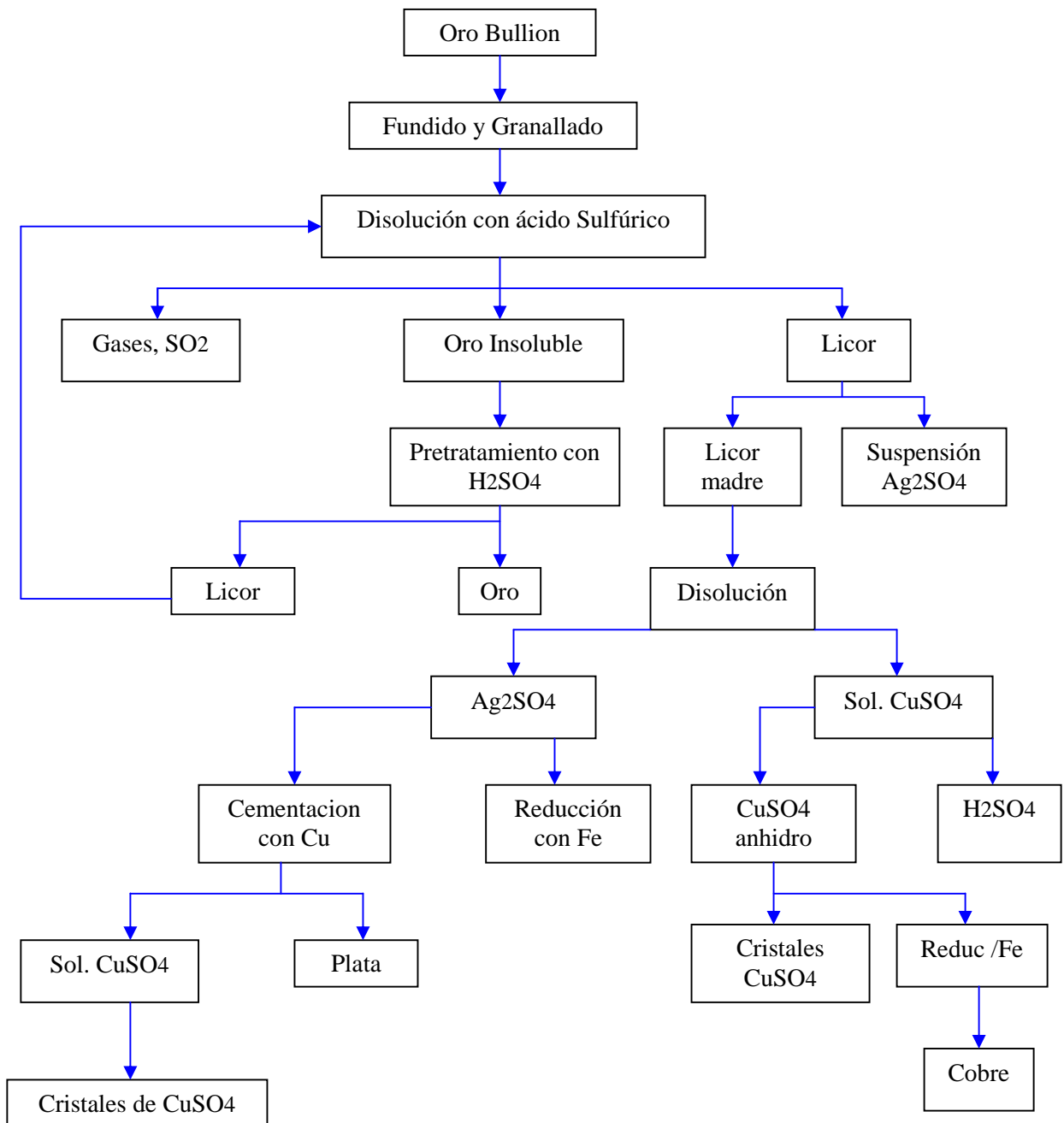


Diagrama N° 2 Proceso Ácido Sulfúrico

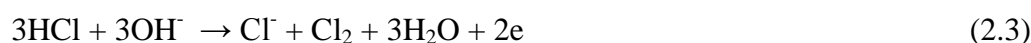
2.3.2.3. Proceso con Agua Regia

El uso de agua regia está estrictamente limitado al bullión de muy alto grado, donde la plata no ascienda a más de 5 % o cuando el bullión contenga suficiente cobre para exponerlo al ataque a pesar del exceso de plata. La presencia de este metal no es recomendable debido a la tendencia del AgCl a formar, sobre el material, capas densas que no permitieran el posterior ataque.

La disolución del oro se realiza con agua regia. La disolución acuosa que contiene el oro se evapora a sequedad con el fin de eliminar los nitratos que interfieran en las etapas posteriores y el residuo se disuelve otra vez en ácido clorhídrico.

Las reacciones de oxidación y reducción que se dan al formar el agua regia, son:

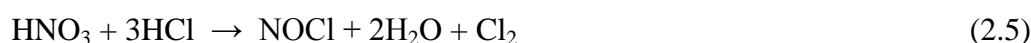
Reacción de oxidación:



Reacción de reducción:



Reacción global:



La reacción de disolución del oro se produce por la acción del agente oxidante formado, NOCl. Las reacciones de oxidación y reducción que tienen lugar nos permiten determinar la reacción global.

Oxidación:



Reducción:



Reacción global:



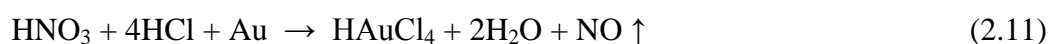
El óxido nítrico es un gas inestable incoloro que prontamente se combina con el oxígeno atmosférico, formando vapores de dióxido de nitrógeno, NO₂, de color pardo rojizo, también llamado peróxido de nitrógeno.



La reacción global es la siguiente:



O sea:

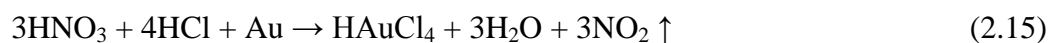


Otros productos de reacción que ocurren con los metales son:



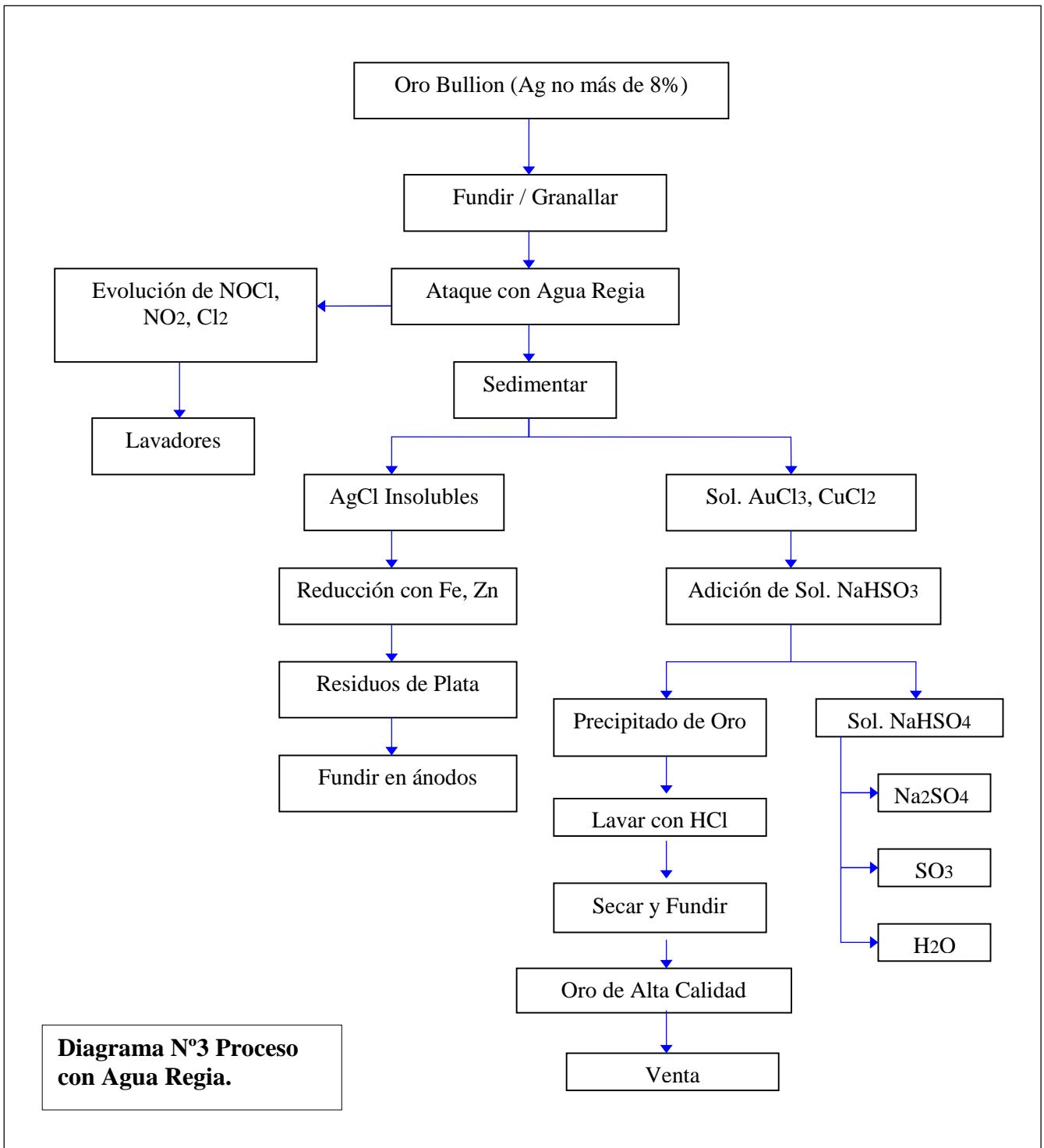
Después que el metal ha sido disuelto, es necesario la liberación de cualquier exceso de ácido nítrico, que se consigue hirviendo con un exceso de ácido clorhídrico, si no es eficientemente lo realizado, se experimentará ciertas molestias en la precipitación del oro.

El cemento de oro se trata con agua regia hasta su total disolución, ocurriendo esta de acuerdo a la siguiente reacción química:



El oro se puede recuperar por varios procedimientos en los que se utilizan medios como SO_2 , FeCl_2 , FeSO_4 , ácido oxálico, bisulfito de sodio y peróxido de hidrogeno. Se obtiene un metal de 99.90 % de pureza.

La mayor ventaja, y por eso es un proceso que se utiliza hoy en día, es que pueden tratarse materiales con un contenido importante de metales del grupo del platino.



2.3.2.4. Proceso Wohlwill

Este proceso utiliza la electrólisis para el refinado del oro. El metal impuro se moldea en ánodos mientras que los cátodos se preparan de titanio o de oro muy fino. El electrolito es una disolución acuosa de ácido tetracloroaurico



Las reacciones en el ánodo son:



Mientras que las correspondientes al cátodo son:

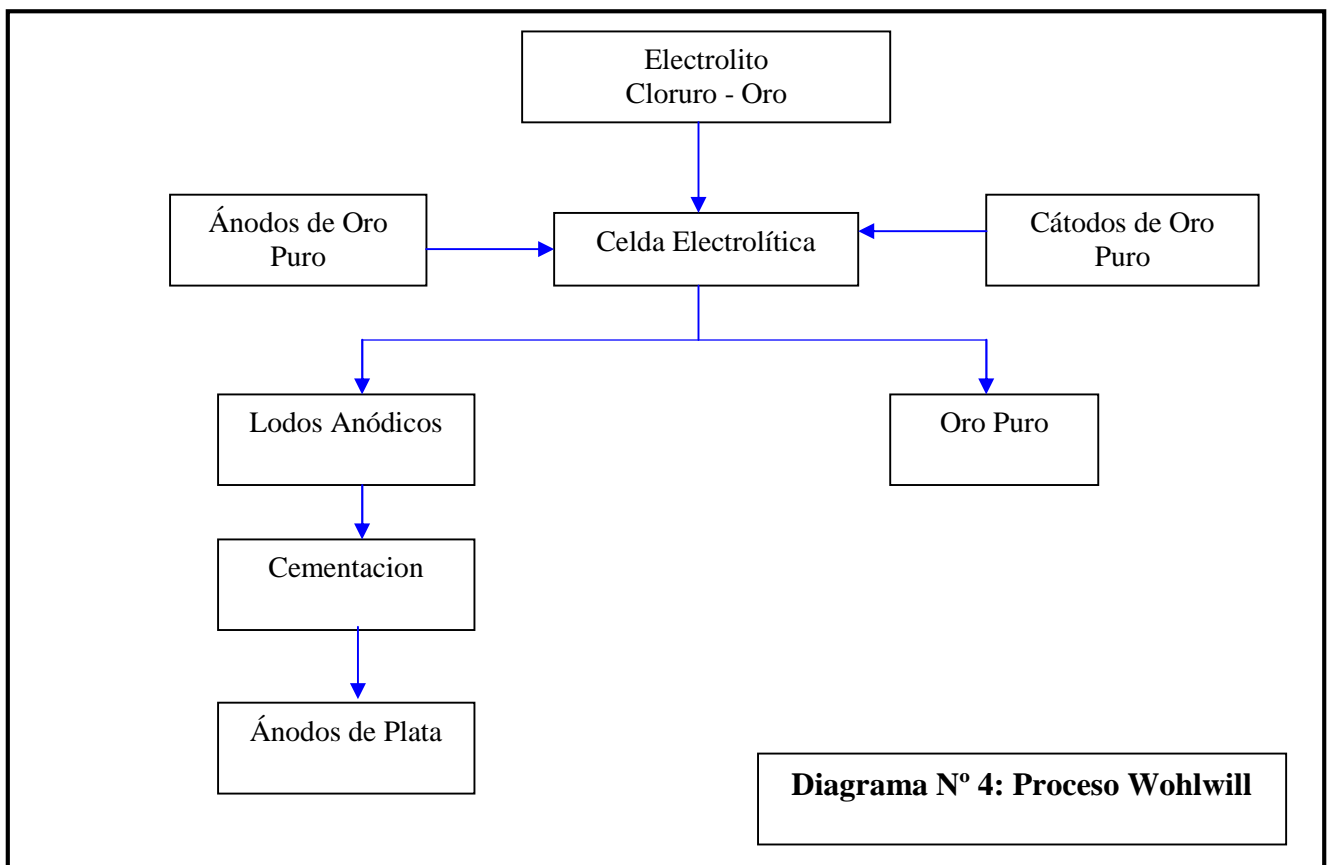


La aplicación del proceso, cuyo esquema se muestra en Diagrama N° 4, se ve restringida a materiales con un contenido de plata inferior al 10%. El principal problema se debe a la polarización que da lugar a la presencia de plata y la obtención de cátodos cada vez más impuros, debido a la contaminación física por este metal contenido en el material de partida.

La polarización anódica se puede evitar:

- Introduciendo un componente de corriente alterna en el suministro de corriente continua.
- Sustituyendo parte del ácido clorhídrico por cloruro de sodio
- Trabajando a elevadas temperaturas.

La impureza del cátodo se reduce mediante agitación con aire y utilizando sistemas que recojan al cloruro de plata que se forma en el proceso. Algunas de las impurezas como el cobre, el zinc, el platino y el paladio, tienden a disolverse, por lo que se acumulan en el electrolito, siendo necesario realizar periódicamente un tratamiento del mismo. En el caso de impurezas insolubles (otros metales del grupo del platino y de la plata) que se forman en el fondo de la celda electrolítica, se hace necesario eliminarlas periódicamente, junto al oro también precipitado, para un reciclado o eventual tratamiento. Pese a todo, es difícil, mediante este procedimiento obtener de forma continua un oro con una pureza superior al 99.99%.



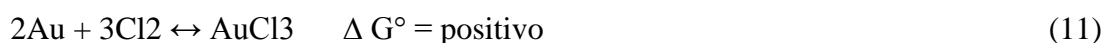
2.3.2.5. Proceso Miller

Desde principios de este siglo, el proceso Miller se ha usado, junto a la electrólisis, para el tratamiento de materiales que contienen oro.

En el Diagrama 5 se muestra un esquema del mismo.

El proceso se basa en el hecho de que el oro no forma rápidamente ningún cloruro volátil, mientras que la mayoría de las impurezas que le acompañan sí lo hacen, por lo que se pueden eliminar mediante burbujeo de cloro gas en el oro fundido. El punto final de la operación depende en gran medida del operario, ya que está marcado por la aparición de un color marrón al final de la punta del tubo de burbujeo; este color indica que se está empezando a formar el correspondiente compuesto clorado de oro.

Las reacciones de formación de los cloruros son:



En el proceso de cloración, la presencia de hierro, plomo y zinc tienen una influencia en la velocidad y eficiencia de la eliminación de las impurezas. Aunque termodinámicamente no está favorecida, se observa en la práctica que se elimina el hierro en primer lugar antes que el zinc y el plomo se volatilicen. Además, si no hay hierro, como estos dos metales no forman fácilmente los correspondientes compuestos clorados, lo que no deja de ser un comportamiento anómalo.

La temperatura del proceso de cloración del oro también ha sido objeto de estudio. Generalmente, dicha temperatura de trabajo es de 1150 °C.

La electrólisis en el proceso Miller, que no es sino una aplicación del proceso Wohlwill, aunque da lugar a la obtención de un producto puro, también presenta problemas, siendo el proceso electrolítico más complejo de lo que pudiera parecer.

Se observa que la disolución anódica del oro es en la forma de Au(III), pero en la práctica una parte de este metal pasa a la disolución como Au(I), lo que da lugar a la obtención de malos depósitos catódicos y a la formación de finos de oro en la celda electrolítica. Los finos se pueden eliminar si se emplea una densidad de corriente alta y un cátodo proporcionalmente más pequeño que el ánodo. Para que se forme un oro de la más larga pureza es mejor que el cátodo sea rugoso.

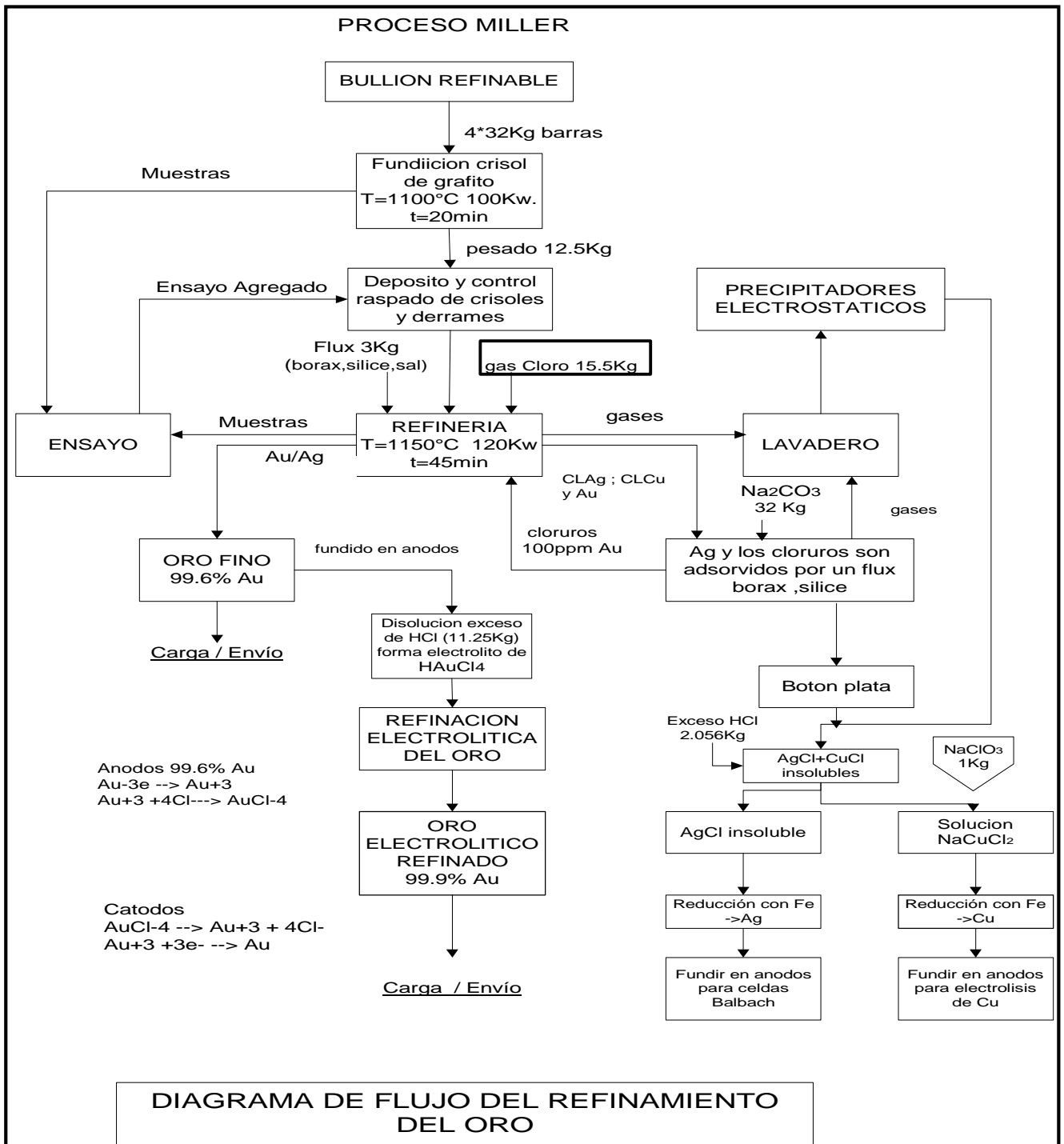
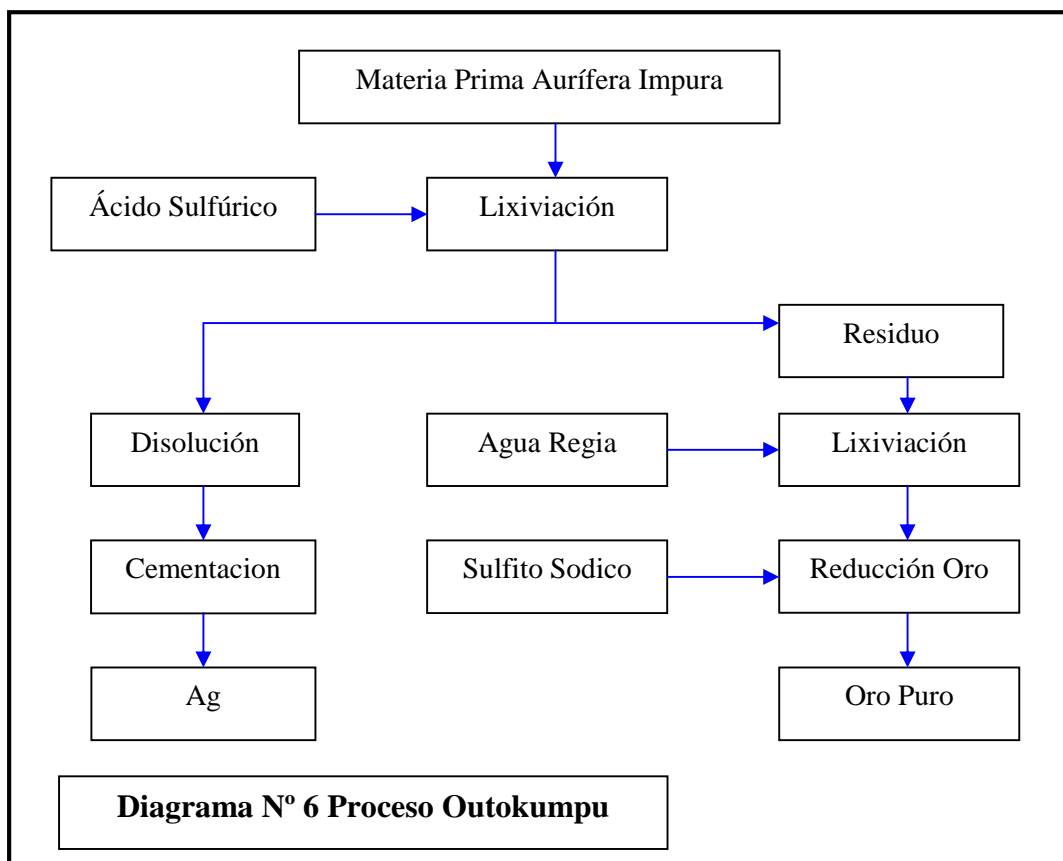


Diagrama N° 5. Proceso Miller

2.3.2.6. Proceso Outokumpu

Este proceso trata lodos anódicos de modo que se facilite el procesado posterior de los metales del grupo del platino y a la vez que disminuya el contenido de oro en los circuitos electrolíticos, tal y como ocurre en el proceso Wohlwill.

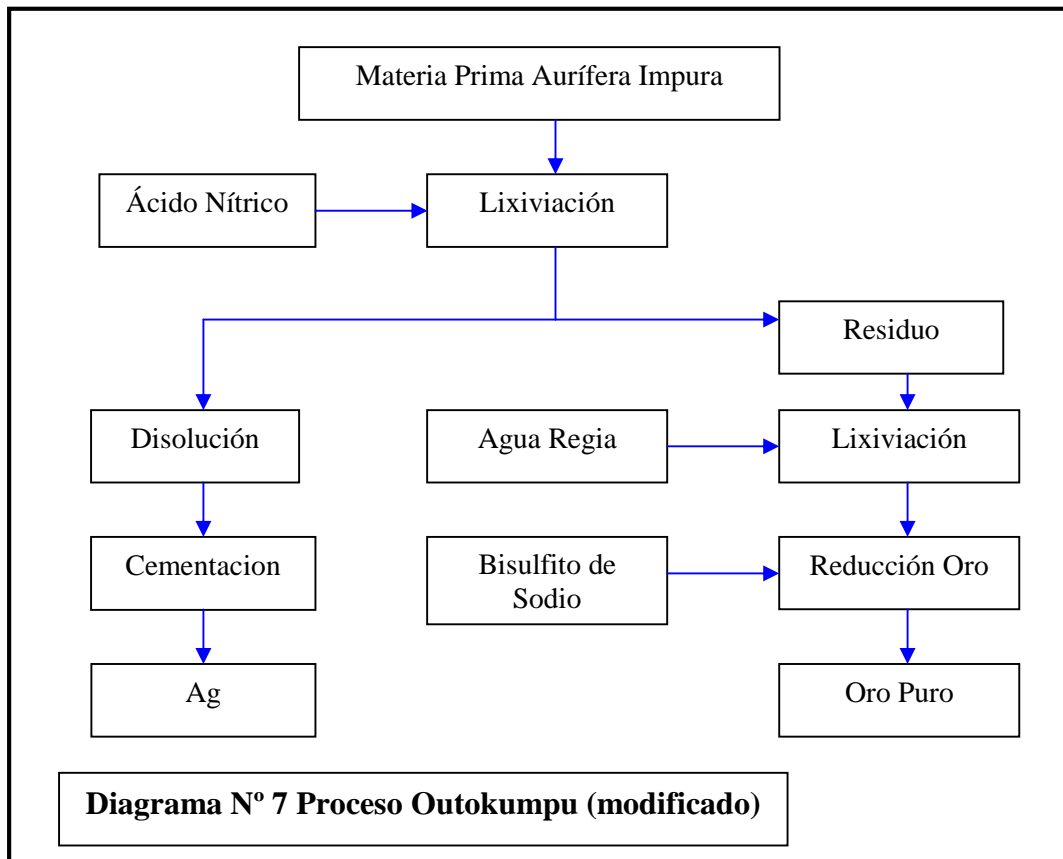
Este proceso todavía emplea la lixiviación del residuo aurífero que se forma en las celdas de procesado de plata. El agente de lixiviación que se utiliza es ácido sulfúrico concentrado. Sin embargo, el oro fino que se obtiene no se funde en ánodos, sino que se vuelve a tratar, esta vez con agua regia, de forma que se disuelve el oro, metal que se precipita de forma selectiva con sulfito sódico, bajo condiciones de estricto control del potencial redox. El platino y el paladio contenidos en la disolución de lixiviación se recuperan mediante cementación con hierro.



2.3.2.7.- Proceso Outokumpu (Modificado)

Se llama Proceso Outokumpu (modificado), por la razón de que en la primera lixiviación, se uso el ácido nítrico, luego de efectuar los ataques correspondientes el residuo y la solución son separados por decantación, para la solución se realiza una cementación para obtener la plata, para el

residuo se le hace una segunda lixiviación con agua regia, después a la nueva solución que contiene oro diluido, se le hace una reducción con bisulfito de sodio, hasta obtener el cemento de oro, para luego fundirlo con sus respectivos fundentes y así tener al oro con una buena ley.



2.3.2.8.- Proceso de Base Clorhídrico

El oro se puede disolver en ácido clorhídrico en presencia de un oxidante. La plata precipita en este medio y se puede aprovechar si se separa. El oro, posteriormente, se precipita con ácido oxálico. Aunque una sola precipitación suele ser insuficiente, el paladio puede precipitar con el oro. Los metales básicos, como el cobre, se pueden precipitar con SO_2 . Las precipitaciones se deben repetir varias veces para conseguir metales puros. Este método tiene ventajas ya que es barato en equipo, es rápido y, por lo tanto, recomendable para cantidades pequeñas de metal.

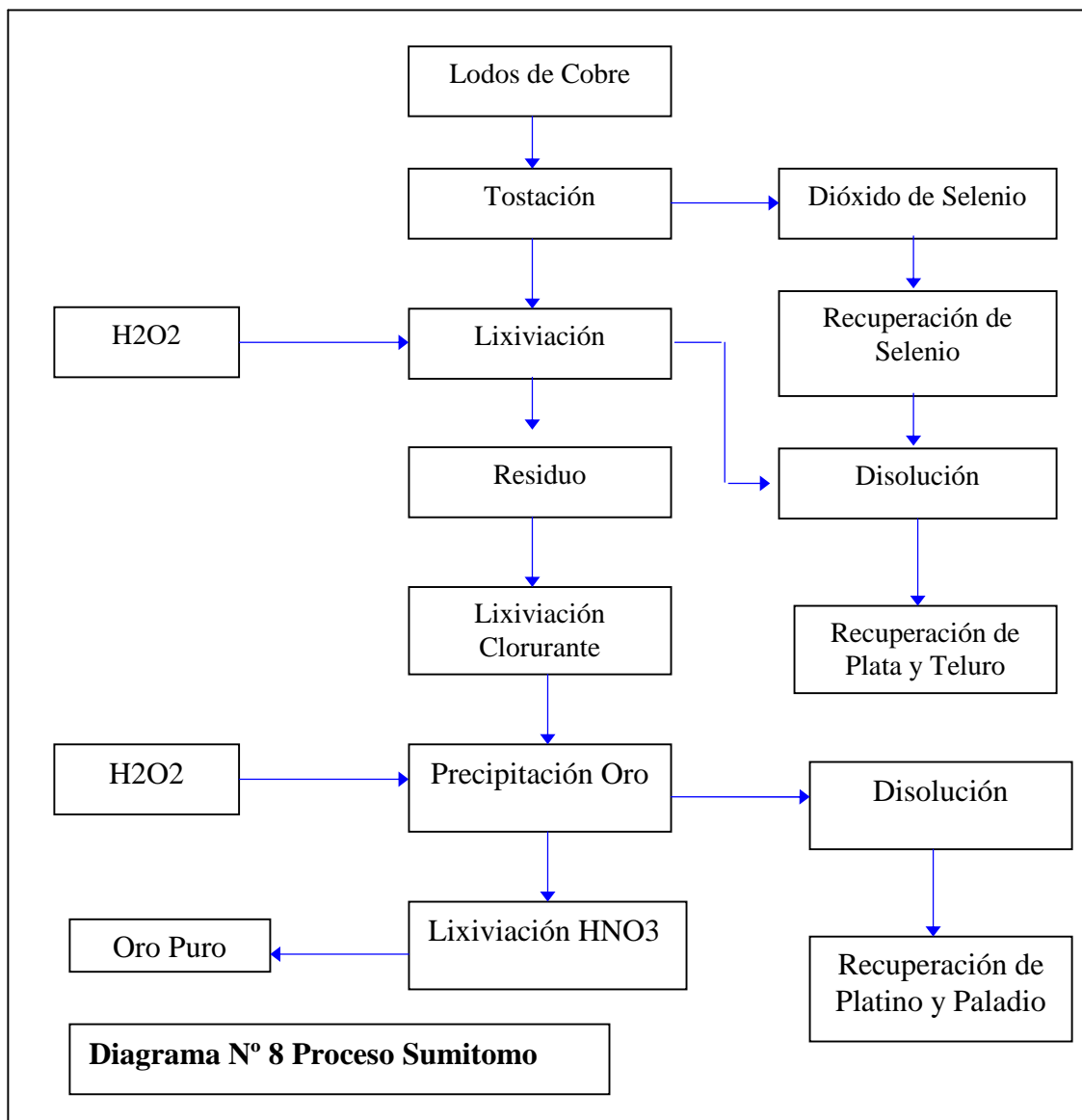
2.3.2.9. Proceso Sumitomo

El esquema del proceso se muestra en el Diagrama 8. Los lodos anódicos de las refineries de cobre tratan, en primer lugar, para eliminar el cobre y el selenio, después el producto resultante se

digiere con ácido sulfúrico con el fin de eliminar la plata. Los sólidos que resultan de esta operación se lixivian con cloro gaseoso, disolviéndose el oro, el platino y el paladio.

Se recupera el oro precipitándolo con peróxido de hidrógeno, se consumen cantidades que oscilan de 10 a 15 veces la concentración estequiométrica del reductor. El oro así precipitado necesita aún de una posterior lixiviación con ácido nítrico con el fin de conseguir la pureza necesaria para su comercialización. El platino y el paladio se recuperan mediante precipitación con ácido fórmico en forma de un concentrado mixto.

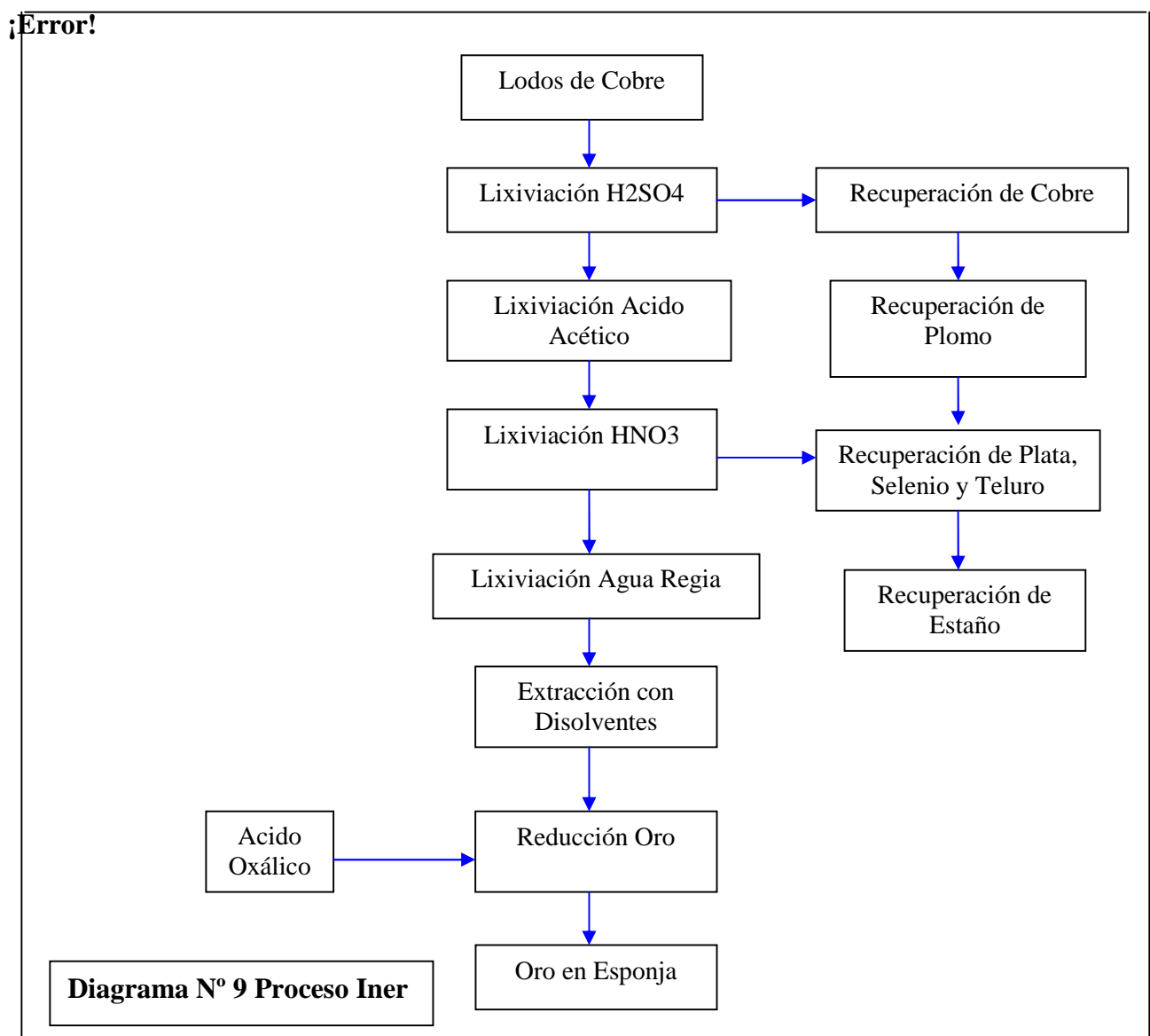
¡Error!



2.3.2.10. Proceso Iner

En este proceso se pretende el tratamiento global de los lodos que se producen en las plantas de electrorrefino de cobre. En primer lugar, se separan el cobre, el plomo, la plata y el selenio mediante una lixiviación selectiva; a continuación, y también en forma selectiva, el oro se recupera de la disolución de lixiviación mediante extracción con disolventes.

Como agente de extracción se emplea el dibutilcarbitol. La fase orgánica cargada con el metal se lava dos veces con ácido clorhídrico diluido, recuperándose el oro, como una arena fina, mediante una disolución de ácido oxálico a 85°C. El proceso se muestra en el Diagrama 9.



2.3.2.11. Proceso Inco

En el Diagrama 10 muestra un esquema del proceso INCO. En este proceso, originalmente se trataban, mediante una lixiviación con agua regia, los concentrados que contenían a los metales preciosos. La disolución resultante contenía de 4 a 5 g/l Au, 25 g/l Pd, 25 g/l Pt y otros 20 g/l de elementos considerados como contaminantes.

Estos primeros resultados hicieron que el método de lixiviación se cambiara por un sistema de HCl/Cl₂, de forma que todos los metales nobles permanecieran en la disolución y se pudiera emplear un circuito de extracción con disolventes para la recuperación de todos ellos. En el caso del oro, el cambio de sistema de lixiviación no influye en el proceso de extracción con disolventes, siempre que la acidez de la disolución final de lixiviación se mantenga entre 105 y 145 g/l HCl.

A la vez que se cambio el sistema de lixiviación, el circuito de extracción con disolventes también sufrió un cambio. Inicialmente, la extracción trabajaba en una etapa en discontinuo, cargándose la fase orgánica con 20-25 G7K Au y obteniéndose un refinado con mas de 0.01 g/l del metal. Esta última concentración de oro, aunque aceptable es un proceso de refinado clásico, no lo es en el caso de las operaciones de refinado de los metales del grupo del platino, especialmente en el caso del paladio. La razón es que en la extracción con disolventes del paladio se emplean sulfuros de dialquilo como agentes de extracción que también extraen el oro, de forma que ambos metales se extraen conjuntamente. Además, y puesto que la etapa de reextracción se lleva a cabo en medio amoniacal, existe la posibilidad de que el oro coextraído forme fulminatos de oro, compuestos muy inestables y con el riesgo potencial de producir explosiones. Se hace necesario mantener la concentración de oro en el refinado debajo de 0.001 g/l para evitar estas situaciones.

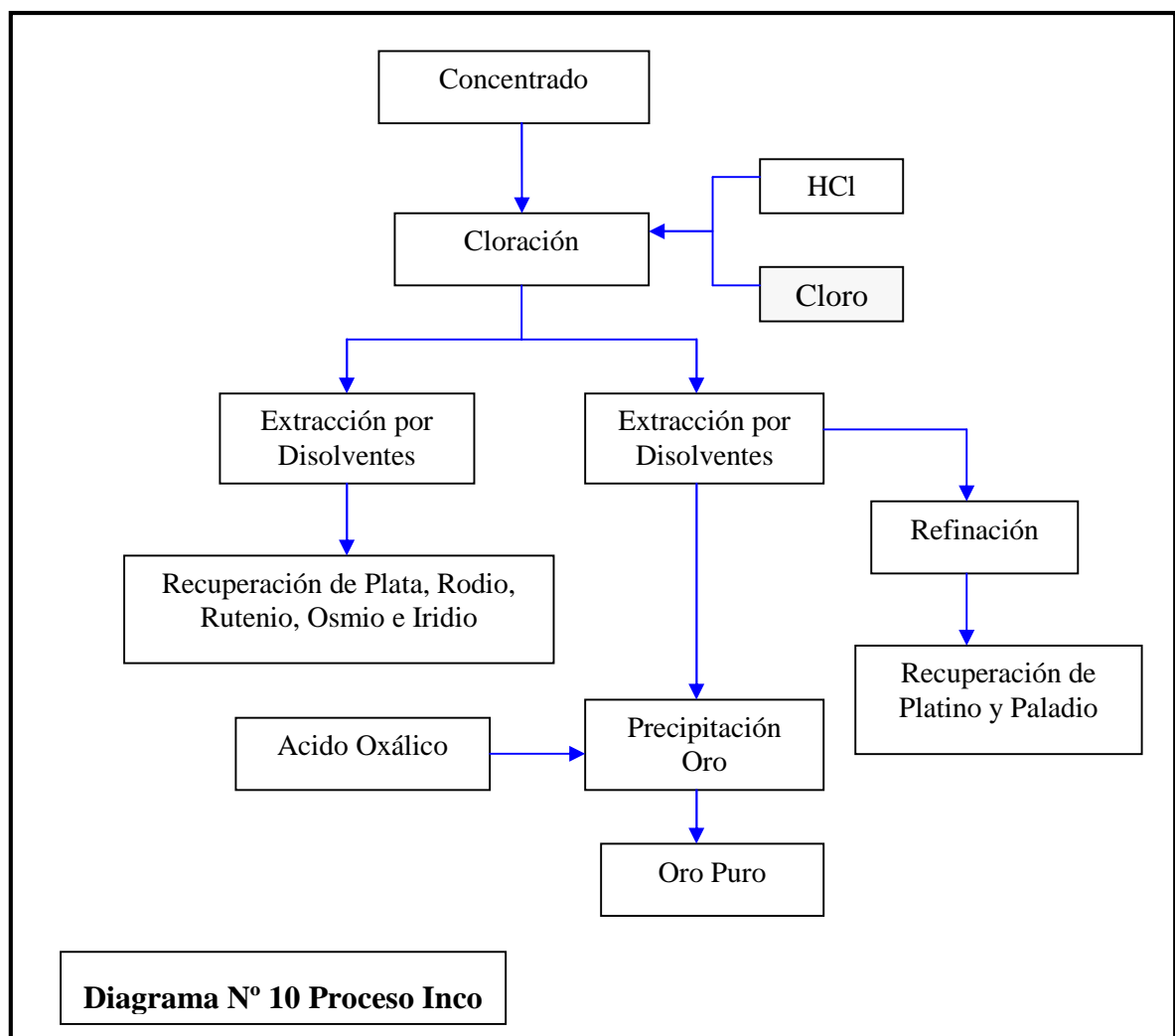
En el caso de la plata, las mezclas de este metal con amoníaco también tienen estas características, pero puesto que la plata no se extrae con estos sulfuros de alquilo, no existe la misma necesidad de eliminar este metal de las disoluciones acuosas.

Para mantener la concentración de oro en el orden de concentración mencionado anteriormente, se cambio el sistema de extracción a una operación en dos etapas en contracorriente. De esta forma, y dependiendo de la concentración de oro en el material inicial, se pueden conseguir fases orgánicas cargadas con hasta 30 g/l del metal. A continuación, el sistema opera con un lavado en tres etapas en contracorriente; como disolución acuosa se emplea HCl 1.5 M, esta etapa de lavado elimina las impurezas que se puedan coextraer o arrastrar junto al oro. Este metal se recupera mediante una

reextracción con ácido oxálico en caliente. Se ensayaron otros agentes reductores, pero el ácido oxálico es el que da lugar al producto de mayor pureza y más fácilmente manipulable.

La reacción de reducción es lenta, sobre 3 h, y se realiza a unos 90 °C. El oro precipitado se filtra, se lava y se funde para su posterior comercialización.

La mayor desventaja de este proceso es la gran solubilidad del dibutilcarbitol en las disoluciones acuosas, por lo que se ha incorporado al proceso una etapa de reextracción en fase vapor con el fin de recuperar el agente de reextracción.



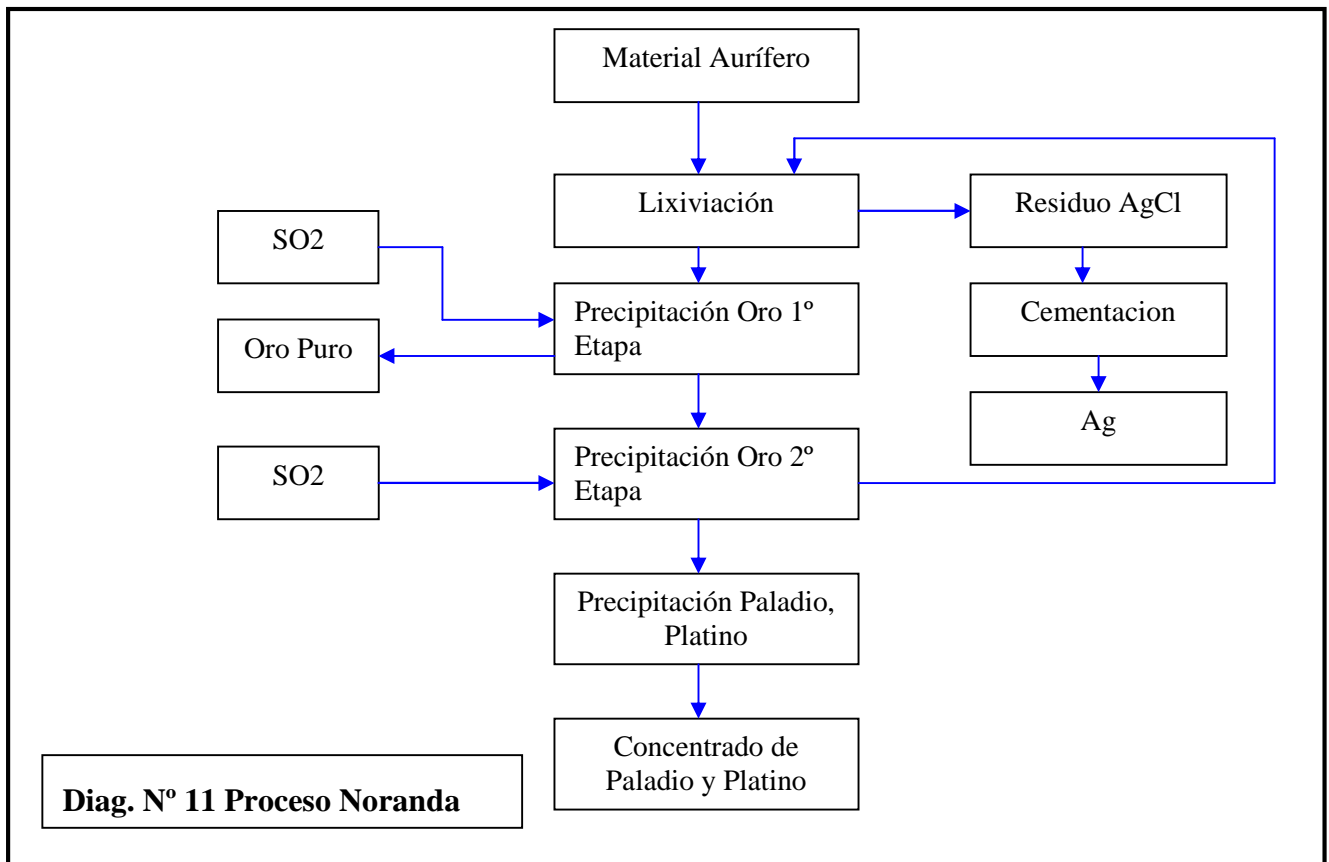
2.3.2.12. Proceso Noranda

Durante cerca de cincuenta años ha sido empleado, para el refinado de metales preciosos, un proceso Noranda que presentaba una serie de deficiencias que se podían resumir en que:

- Se trataban lodos anódicos de los procesos de refinado de plata. Era necesario un buen lavado de los lodos para eliminar totalmente el nitrato de los mismos.
- En el proceso de electrorrefinado del oro, tanto el paladio como el platino tenían una tendencia a disolverse. La concentración de estos en el electrolito aumentaba a la vez que disminuía el oro.
- El mal funcionamiento del proceso electrolítico conllevaba a un aumento del oro en el circuito con el consiguiente incremento en el coste de producción. Además, en algunas refinerías, la concentración de oro que se recirculaba podía ser muy considerable teniendo en cuenta que el oro en el electrolito debe presentar una concentración.

Todas estas consideraciones hicieron que Noranda desarrollara un nuevo proceso, cuyo esquema se muestra en la figura 10. En resumen, las etapas del mismo son:

1. Lixiviación del material aurífero con agua regia.
2. Cementación de la plata con hierro (se obtiene una plata que se puede refinar).
3. Precipitación del oro, a 95°C, con SO₂ y en dos etapas. En la primera etapa se obtiene un oro con una pureza mayor del 99,99%. En la segunda se obtiene un oro impuro que se recicla a la etapa de lixiviación.
4. Precipitación de un concentrado paladio – platino, a 95°C. Como agente precipitante se emplea formiato sódico a un pH de 3.5 – 4.
5. Neutralización de los efluentes producidos en la cementación de la plata y la precipitación del platino – paladio reciclando la pulpa para su posterior tratamiento.



2.3.2.13.- Proceso Peruano Cia. Minera Poderosa

Este proceso utiliza el agua regia, para disolver el oro, y separar las impurezas, para luego hacer la cementación del oro utilizando un precipitante, en este diagrama se ve que tratan de recuperar las mermas posibles en el circuito del proceso

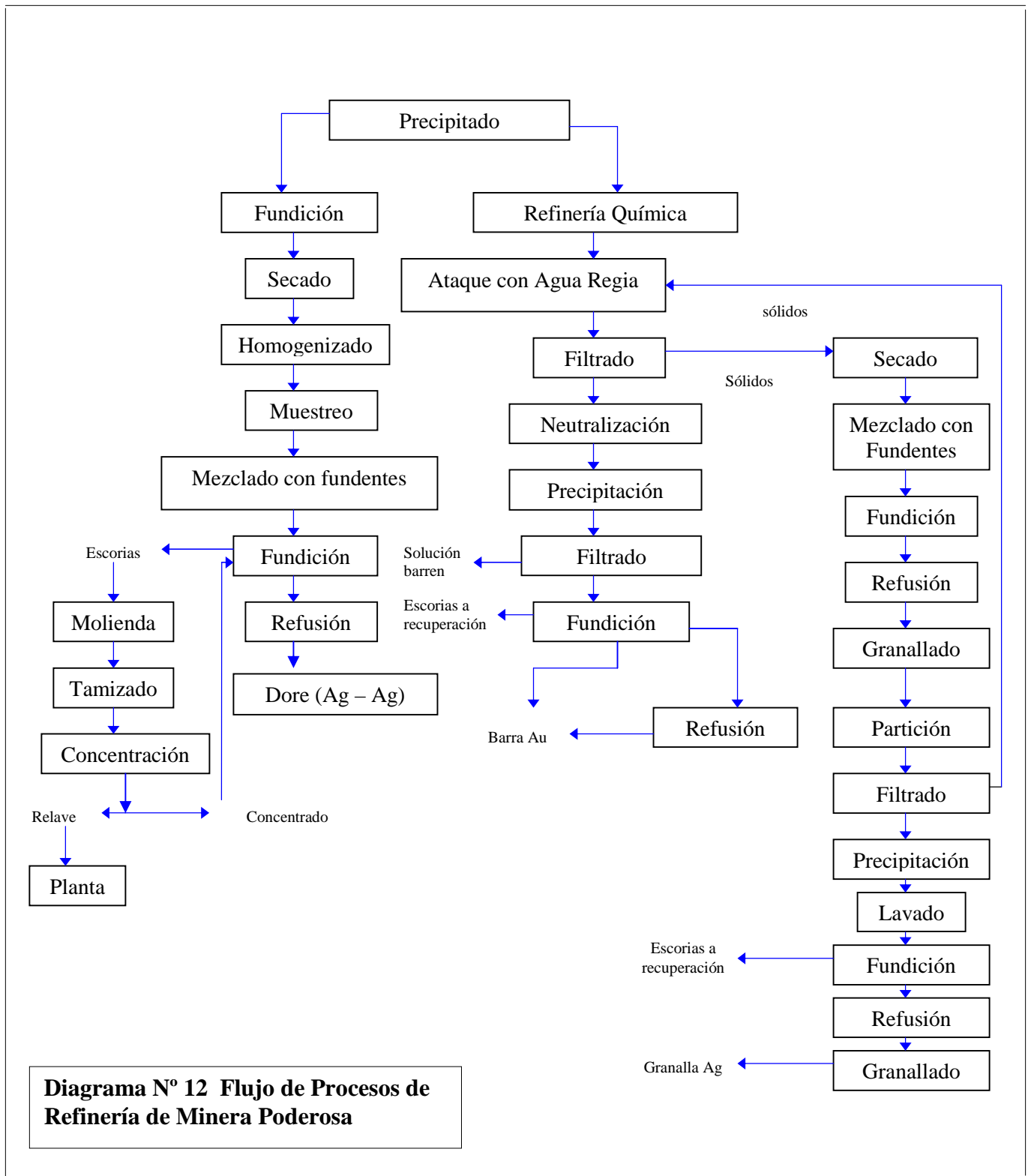


Tabla N° 10. DESCRIPCION DEL PROCESO

DESCRIPCION DEL PROCESO		
La planta de refinación química es un sistema que ha sido diseñado para una performance basada en cada ciclo, para cada estado.		
COMO SE REALIZA	TABLA DE TIEMPOS DE OPERACIONES	
	PROCESO	HORAS
1. Preparación del Cemento	Ataque Químico	6
2. El ataque con Agua Regia.	Separación S/L y Lavado.	3
3. La filtración.	Neutralización y Precipitación Au	1
4. La Precipitación.	Separación Au/L y lavado	3
5. El residuo solidó del ataque con agua regia para la recuperación de la plata	Fundición de Precipitado de Au	2
	Fundición de Residuo (Recuperación de Ag)	9
	Total de Recuperación Au y Ag	24

En la tabla se describe en forma concisa como se realiza la refinación , la que caracteriza de este proceso es que se trata de minimizar las mermas, se trabaja a escala industrial haciendo el uso del agua regia, otra cosa que beneficia el tratamiento de refino es que el material que va a ser atacado esta en forma polvurulenta, la que ayuda a una fácil lixiviación.

2.3.3.- Comparación de los métodos de refinación.

Tabla N° 11. Comparación de los Métodos de Refinación.

METODOS DE REFINACION	VENTAJAS	DESVENTAJAS	LIMITACIONES
1. Proceso Acido Nítrico	- Disuelve los metales base y la plata presentes en el mineral problema	- No es aplicable cuando hay presencia de platino, rodio ni de iridio	- No permite tratar leyes superiores al 30%
2. Proceso Acido Sulfúrico	- Disuelve la plata y otros metales que forman sulfatos	- La presencia de plomo imposibilita la refinación.	- No permite tratar leyes superiores al 30%
3. Proceso con agua regia.	- Obtención de alta ley de mineral refinado	- La presencia de plata tiende a formar el cloruro de plata.	- Solo es aplicable para leyes superiores al 95%
4. Proceso Wohlwill	- Elevada pureza del oro refinado	- La presencia de plata permite obtener cátodos impuros	- Alta temperatura, tratamiento sucesivo de algunos residuos de oro
5. Proceso Miller	- Elevada pureza del oro refinado	- Formación de finos en la celda electrolítica	- Trabajo a muy elevada temperatura
6. Proceso Outokumpu	- Permite tratar cualquier ley de oro - Permite separar el platino y el paladio para su posterior recuperación	- Precisa de doble refinación	- Ninguna limitación para una correcta refinación de oro.
7. Proceso Sumitomo	- Permite recuperar el platino y el paladio	- Exceso de consumo de peróxido de hidrógeno para la precipitación del oro.	- Solo se usan para lodos anódicos
8. Proceso INER	- Es posible separar el cobre, el plomo, la plata y el selenio mediante una lixiviación selectiva	- Recuperación del oro mediante solventes	- Solo se usan para lodos anódicos de electrorrefino de cobre
9. Proceso INCO	- Permite la recuperación de la plata, platino, paladio y otros metales	- Extracción del oro con solventes orgánicos - La solubilidad de los solventes orgánicos en disoluciones acuosas	- La obtención del oro refinado es lenta en función del tiempo.
10. Proceso Noranda	- Es posible la recuperación de otros metales preciosos	- Obtención del oro en 2 etapas, en la primera etapa se obtiene oro de muy buena, pero los residuos tienen que ser lixiviados nuevamente.	- Método que ha mostrado muchas mejoras en los últimos años.

Fuente: Elaboración propia

2.3.4. Proceso de Precipitación

Después que la reacción química ha culminado, los licores son dejados sedimentar durante varias horas, y la solución sobrenadante es sifoneada, quedando como sedimento el cloruro de plata.

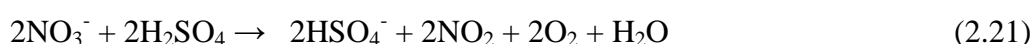
El oro en solución en la forma de cloruro áurico es precipitado selectivamente separándolo de las impurezas de que puede estar acompañado; para ello puede utilizarse uno de los siguientes métodos, eligiendo el más favorable en términos económicos y técnicos.

Las sustancias con que se puede precipitar el oro de la solución cloruro áurico, son las siguientes: Ácido sulfuroso, (H_2SO_3), Acido oxálico, ($\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$); Acido hipofosforoso, (H_3PO_2), Acido fórmico, (CH_2O_2); Anhídrido sulfuroso, (SO_2), Bisulfito de sodio, (NaHSO_3), Cloruro ferroso, (FeCl_2), Nitrito de sodio, (NaNO_2), Peróxido de hidrógeno, (H_2O_2); Sulfato ferroso, (FeSO_4), Tricloruro de titanio, (TiCl_3)

2.3.4.1. Precipitación con ácido Sulfúroso

La precipitación con ácido sulfuroso provee una buena separación de oro de soluciones que contengan pequeñas cantidades de paladio y platino, y grandes cantidades de metales bases que usualmente están presentes en las aleaciones de oro. Cantidades de platino como 25 a 100 mg/lit contaminarán el oro precipitado. Por otro lado, grandes cantidades de paladio puede ser tolerable; pero para obtener resultados más precisos el oro precipitado será redissuelto nuevamente.

La degradación de los iones nitrato que aún quedan, se puede lograr con la adición de ácido sulfúrico, lo cual ocurre según la siguiente reacción química :

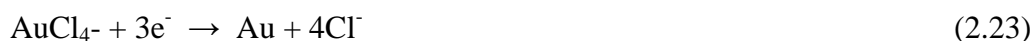


Las semi-reacciones que ocurren en el proceso de precipitación del oro, son las siguientes:

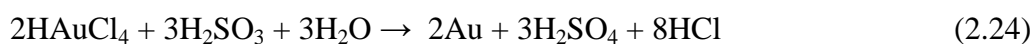
Oxidación



Reducción



y la respectiva reacción global es:



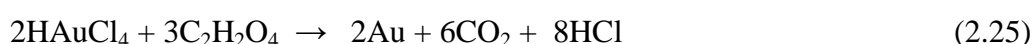
requiriéndose 0,62 gr. de H_2SO_3 para precipitar un gramo de oro.

2.3.4.2. Precipitación por medio del Ácido Oxálico

El ácido oxálico se encuentra en el mercado, ya sea de grado analítico o de grado comercial, usándose ésta última por conveniencia económica.

La solución conteniendo el cloruro áurico, debe tener una concentración no mayor de 50 gramos de oro por litro.

La reducción del oro se realiza en caliente y preferentemente cerca del punto de ebullición. La reacción que ocurre es la siguiente:



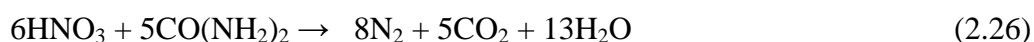
requiriéndose 0,68 gr. de $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$ para precipitar un gramo de oro. Pero experimentalmente se usa casi el doble, 1,2 gr. de ácido oxálico por un gramo de oro o sea $50 \times 1,2 = 60$ gr. de ácido oxálico por cada litro de solución áurica.

La fusión del precipitado final se realiza con una mezcla de 95% de bórax y 5% de nitrato de potasio, este último sirve para oxidar algunos metales bases como cobre, plomo, etc.

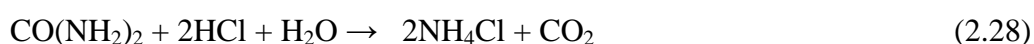
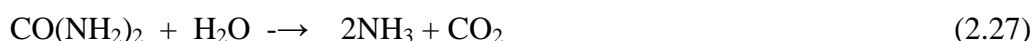
2.3.4.3. Precipitación con Bisulfito de Sodio

En este proceso se obvia la etapa engorrosa de eliminación del exceso de nítrico mediante vaporización sucesiva.

La destrucción del exceso de ácido nítrico se realiza por adición de urea de acuerdo a la siguiente reacción:

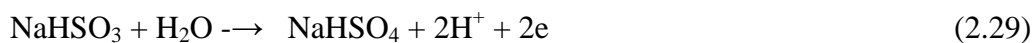


también por disociación y sustitución se logra elevar el pH (pH alrededor de 4) de la solución, ello es expresado por las siguientes reacciones:



Finalmente la precipitación del oro se logra por la adición de bisulfito de sodio en una proporción superior a la resultante del cálculo estequiométrico.

Oxidación:



Reducción:

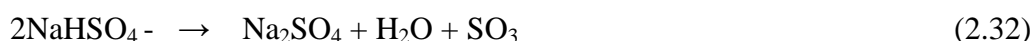


Reacción neta:



requiriéndose 0,79 gr. de bisulfito de sodio para precipitar un gramo de oro.

La evolución de gases en esta etapa es producto de la descomposición del bisulfito de sodio, NaHSO_3 :



2.3.4.4. Precipitación con Nitrato de Sodio

Este método es descrito para la precipitación del oro que se encuentra en solución como cloruro áurico, libre de iones nitrato y con posible presencia de metales del grupo del platino los cuales permanecerán en solución.

En la operación, primeramente, el oro es precipitado con nitrito de sodio a pH 1.5 , y luego mediante el ajuste a pH 8 se precipitan como hidróxidos el oro, cobre, zinc, níquel e indio, de los cuales, el oro es removido mediante la disolución con ácido clorhídrico.

2.4. Variables de Refinación de Oro

En la Evaluación a realizar las variables a considerar son muchas, de ellas algunas se consideran constantes, estas aparentemente pudieran tener poca influencia en la obtención de los resultados.

Dentro de las variables que usualmente se consideran están: la concentración del reactivo disolvente, la temperatura, el tiempo, costo final de refinación, pureza final alcanzada.

2.4.1. Variables Dependientes

Son aquellas variables que describen los resultados de un proceso, estas son:

2.4.1.1. Costo de Refinación

Esta es una variable que nos establecerá el precio por gramo refinado, es posible obtener un método económico, pero su uso futuro es el que determina que tan bueno o malo resulta, se podría dar el caso que hay usarlo en joyería de exportación, con una ley baja (por ejemplo: 99% de pureza final),

pero a precio relativamente bajo respecto a los otros métodos, simplemente se desecha este por no poseer una buena ley final de oro refinado

2.4.1.2. Pureza Alcanzada

Variable esta que define la calidad del material refinado, dependiendo de la pureza que alcancemos en nuestra refinación, podemos orientar el uso final que se puede dar, dentro de la joyería nacional, es posible trabajar con márgenes de ley, en tanto que para joyería de exportación estos márgenes deben de ser fijos.

2.4.1.3. Eficiencia de Recuperación

La eficiencia de recuperación esta determinado por la relación del peso final de oro obtenido sobre el peso inicial de oro a refinar expresado en porcentaje, cabe mencionar que para esta eficiencia se considera el peso después de la primera fundición, puesto que en esta etapa hay una primera merma que es descontada al cliente.

2.4.2. Variables Independientes

Es una variable de proceso que puede tomar valores independientemente de las otras variables, en nuestra evaluación hemos considerado:

2.4.2.1. Concentración de los Reactivos

Para el ataque con ácido nítrico se utilizan concentraciones concentradas de este reactivo, desde un primer momento.

El ataque con agua regia también se realiza con una concentración concentrada.

En la precipitación con bisulfito de sodio esta se efectúa con una solución saturada.

2.4.2.2. Temperatura

La temperatura es una variable que determina el potencial químico y la actividad de un sólido en contacto con la fase líquida; la temperatura de trabajo fluctúa entre los 70 a 80°C.

2.4.2.3. Tiempo

El efecto de esta variable esta relacionado principalmente con la temperatura de disolución, uno de los factores que inciden en esta variable es el tamaño de la granalla

CAPITULO – 3

PLANIFICACION DE LA EXPERIMENTACION

3.1. Planificación de la Experimentación

Hemos de establecer un plan organizado de experimentos que nos van a permitir evaluar simultáneamente todas las variables consideradas.

3.2. Criterios de la Selección de los métodos a Refinar

Los criterios que nos permitirán definir la elección de los métodos a refinar son los siguientes:

- A. Facilidad de Uso**, es decir que tan compleja es su utilización en nuestro medio, que tan fácil podría ser su utilización para los diferentes tipos de mineral que se encuentran en la pequeña minería, minería informal y joyería, también concierne a este factor la posibilidad de adaptación a los métodos que se usan actualmente.
- B. Disponibilidad de Tecnología**, referido esencialmente a la disponibilidad de algunas patentes o a la posibilidad de contar con expertos en el medio sobre algún método específico.
- C. Disponibilidad de Reactivos Químicos**, concierne a este punto la posibilidad de encontrar algunos reactivos químicos específicos para cada método, así como el costo en el caso de hallarlos en el medio y asuntos legales sobre el manejo de estos reactivos.
- D. Precios de los equipos a requerir**, en caso de contar con algunos conocimientos básicos sobre los métodos de refinación, este factor de precios es el referido al costo que podría implicar la compra de equipos para realizar la refinación o su adaptabilidad de los mismos al medio.
- E. Experiencia de trabajo**, es posible que se haya acumulado experiencia en refinación en diversos trabajos, visitas o pasantías a refinerías en el Perú.

3.2.1. Escala de valoración de los criterios de selección

Es necesario cuantificar los criterios de selección de los métodos de refinación, para obtener los métodos que hemos de evaluar por lógica asumiremos que los que tengan mayor puntaje serán los que evaluaremos de acuerdo a lo siguiente:

1 = Malo

2 = Regular

3 = Bueno

4 = Muy Bueno

Tabla N° 12: Selección de los Métodos a Evaluar

METODOS DE REFINACION	CRITERIO DE SELECCION					
	A	B	C	D	E	TOTAL
1. Proceso con Ácido Nítrico	4	4	4	3	4	19
2. Proceso con ácido sulfúrico.	3	1	2	3	1	10
3. Proceso con agua regia.	4	4	4	3	4	19
4. Proceso Wohlwill	1	1	1	1	1	05
5. Proceso Miller	1	1	1	1	1	05
6. Proceso Outokumpu (modificado)	4	4	4	3	4	19
7. Proceso Sumitomo	2	1	3	1	1	07
8. Proceso INER	2	1	3	2	1	09
9. Proceso INCO	1	1	1	1	1	05
10. Proceso Noranda	2	1	1	1	1	06
11. Proceso Cia. Minera Poderosa	3	1	3	3	3	13

Fuente: Elaboración Propia

Los puntajes mas altos los hemos hallado en: Proceso con Acido Nítrico, Proceso con Agua regia y Proceso Outokumpu (modificado), los criterios que más han redundado en esta evaluación han sido su facilidad de uso, se tiene conocimientos sólidos sobres estas tecnologías, los reactivos tienen relativa facilidad en función de la legalidad del uso de los mismos, puesto que algunos de ellos son considerados **Insumos Químicos Controlados**, hay que ser un tanto cuidadosos en el manejo legal de los mismos, los equipos que precisan estos métodos los podemos hallar en el medio, es necesario hacer pedido de algunos de ellos a Lima, pero en si; no muestran mayor dificultad para su disponibilidad y la experiencia de trabajo acumulada en refinerías de oro nos permiten tener confianza operativa al momento de efectuar estas refinaciones.

Entonces nuestros métodos a evaluar son:

- Proceso con Acido Nítrico
- Proceso con Agua Regia.
- Proceso con Agua Regia previa incuartaición.
- Proceso Outokumpu (modificado), por nuestra experiencia de trabajo, hemos sustituido el ácido sulfúrico por el ácido nítrico, en la primera lixiviación.

Ya se ha explicado la inclusión del Proceso con agua regia previa incuartaición, pero es necesario aclarar que este método se sustenta en el proceso con agua regia, la diferencia entre ambos radica en la adición de cobre para formar una aleación con 25% en oro para el caso de Agua regia previa incuartaición.

3.2.2. Métodos de Análisis.

Los métodos de análisis a emplear son clásicos para este tipo de industria. Se aplican en cualquier país de la manera siguiente:

- Determinación de la ley de los lingotes por copelación.
- Control de calidad del oro fino por absorción atómica.

3.2.2.1. Determinación de la Ley de los lingotes por copelación

A. Principio:

La copelación tiene como meta la eliminación al estado de óxidos, por medio del plomo, de los metales comunes tales como el cobre, el hierro o el níquel, del oro y de la plata ya que no son oxidables se quedan al estado metálico.

Se lleva la operación en un horno de mufla, en un recipiente poroso llamado copela constituida de magnesita o de polvo de oro calcinado.

Se basa la copelación en el hecho de que “cuando el plomo fundido se expone a la acción del aire, a una temperatura que ronda los 1100 °C y 1200°C, se combina al aire en forma de litargirio (PbO) que es líquido a la temperatura a la que se forma.

Resulta que, si el plomo está contenido en una copela que permite al litargirio ser absorbido a medida que se forma, de tal manera que una nueva superficie libre de plomo queda siempre sometida a la acción del aire, la oxidación se lleva a cabo mientras la totalidad del plomo no haya sido absorbido. El oro y la plata, sometidos a un tratamiento similar no se oxidan y se mantienen al estado metálico.

Es preciso notar que es la gran diferencia de tensión superficial entre el plomo fundido y los metales preciosos fundidos la que evita a aquellos que sean absorbidos por la copela.

B. Material necesario para el análisis de los metales preciosos por vía seca.

a) El horno de copelación llamado “horno de mufla”:

Las fuentes de energía utilizadas son el gas o la electricidad. La temperatura a alcanzar es de 1200°C. Los hornos pueden ser equipados de reguladores, pero un buen probador puede estimar la temperatura de la mufla a casi unos diez grados con arreglo a su color.

Lo que es importante en estos hornos es la mufla. Son de formas diferentes, y de tamaños diferentes. La mejor forma para un uso general es la de las muflas que presentan una sección casi rectangular con la parte alta ligeramente arqueada.

Lo que se requiere durante las pruebas, es la uniformidad de la temperatura y aporte de aire a través de la mufla para que la absorción del oro y de la plata y las pérdidas por volatilización sean las más bajas y mas regulares como sea posible.

b) Instrumentos de hornos y aparatos utilizados para la ejecución de las pruebas:

➤ Pinzas de copelas:

Tienen que ser las mas ligeras posibles, con una anchura de aproximadamente 70 cm, sin embargo que sean sólidas y capaces de apretar las copelas firmemente sin temer que se escapen.

➤ El Tas:

El Tas es un pequeño yunque utilizado para martillar los botones de oro o de plata. Son de acero templado, solidamente fijados en un bloque de madera y su superficie tiene que ser cuidadosamente pulida para evitar una polución de los botones en el martilleo.

➤ Cizallas:

Un par de cizallas fuerte y bien afilada es en general útil para recortar metales tales como placas finas de oro o de plata.

➤ Cepillos:

Uno se sirve de cepillos de pelos duros para limpiar los botones de oro y de plata del polvo de copela que se adhiere a esta. El cepillo se compone de un ramo de cerdas de jabalí duras mantenidas en un tubo de fierro.

➤ Copelas:

Son recipientes en forma de pequeñas cucharas, constituidos de cenizas de hueso o de magnesia y en los cuales se llevan las operaciones de copelación. Se tienen que confeccionar con materias insensibles a la acción de algunos óxidos metálicos fundidos como los de plomo y cobre. Su textura debe ser bastante floja para dejar que sean penetradas rápidamente por los óxidos

fundidos, y sin embargo ser bastante resistentes para que sean manipuladas sin romperse. Su tamaño varía con arreglo a la cantidad de plomo a introducir en la copelación. Es preciso notar, que una copela absorbe aproximadamente los $2/3$ de su peso en plomo.

➤ **El plomo:**

Se utilizara el plomo en 2 formas:

- En rollos de plomo laminado que se cortara en hojas que permiten envolver las aleaciones a copelar antes introducción en el horno.
- En pastillas : Las pastillas de plomo se introducirán durante la copelación a fin de oxidar los metales comunes contenidos en la aleación a analizar. La cantidad de plomo a añadir depende de la proporción de los metales comunes a oxidar contenidos en la aleación.

➤ **Martillo:**

Para utilizar el tas, es preciso tener un martillo cuyo peso ronda los 3 a 5 Kg. Las superficies de golpe tienen que ser muy cuidadosamente pulidas como las de los tas

➤ **Laminado:**

El laminar ordinario de los joyeros es el modelo mas adaptado para las pruebas. Los cilindros tienen que ser rodos limpios y solo tienen que servir para los metales preciosos. El laminado tiene el efecto de aumentar la superficie de ataque de las aleaciones oro y plata conseguidas después de la copelación favoreciendo así la disolución de la plata al ácido nítrico.

➤ **Material de disolución:**

Los recipientes para la disolución se llaman “matraz”. Son pequeños balones de cuello largo de una capacidad de aproximadamente 100 ml. Se colocan en una dila de quemadores que permiten la disolución simultanea de muchas pruebas. Se pueden utilizar pequeños frascos cónicos de tipo “Erlenmeyer” colocados en una placa calentadora.

➤ **Balanza:**

Es imprescindible, para conseguir buenas pruebas, tener una balanza fiable y precisa, capaz de alcanzar una sensibilidad de casi $1/20$ mg.

C. Modo Operatorio.

Siempre se dosifica el oro por prueba por disolución que consiste en copelar el metal en presencia de 2.7 veces su peso en la plata. La copelación elimina los metales comunes presentes en el metal, al estado de óxidos que se disuelven en el óxido de plomo. Queda una aleación de oro y de plata en la copela. Se ataca esta aleación por ácido nítrico que disuelve la plata y que deja intacto el oro. En las pruebas de oro refinado, solo se dosifica el oro. En el oro no refinado, hay plata y cantidades variables de metales comunes. Hace falta en este caso determinar las proporciones a la vez del oro y de la plata.

a) Determinación del total precioso y de la ley aproximativa:

Dos pruebas sobre 0.5 g. se pesaran a fin de determinar la suma del oro más de la plata. Se envolverán cuidadosamente los taladros o los trozos de oro en una hoja de plomo y se colocaran en la mufla que contiene copelas previamente calentadas.

La temperatura de copelación ronda los 1150°C. Lo esencial es que la temperatura sea superior al punto de fusión del metal a analizar. Una añadidura suplementaria las pastillas de plomo es necesaria si la cantidad de metales comunes a oxidar es importante.

Tabla N° 13. Para Determinación de la Ley del Lingote

LEY DEL LINGOTE EN 0/000 (Oro + Plata)	Peso de plomo a añadir para 0.5 gr. de toma de prueba
950 a 1000	2.5 gr
900 a 950	4.5 gr
800 a 900	6.5 gr.
700 a 800	8.5 gr.
600 a 700	10 gr.
500 a 600	12 gr.
100 a 500	15 gr.

COPELACION:

Cuando la copelación se desarrolla normalmente, al principio aparece en superficie pérdidas de litargirio, gotas de óxido de plomo que se parecen a gotas de aceite que se trasladan hacia el borde y que se absorben por la masa de la copela.

Hacia el fin de la copelación, los ojos de oxido de plomo desaparecen completamente. En vez de estos, se ve deslizar en la masa clara en fusión finas películas de oxido de plomo cuyos reflejos tienen el color de un arco iris, y que luego desaparecen bruscamente, así como los humos, y el botón de metal precioso enrojece un momento, es el punto “relámpago”, luego se oscurece en seguida.

Hay que sacar inmediatamente la copela de la mufla, ya que después del relámpago, las pérdidas por vaporización de la plata aumentan mucho.

b) Determinación del “total precioso” :

Después de la copelación y enfriamiento, se separa el botón de la copela, apretado en unas pinzas y cepillado por medio de un cepillo duro a fin de eliminar los fragmentos de la copela.

Luego, se pesa el botón. El peso conseguido corresponde al total de los metales preciosos contenidos en la aleación.

Por ejemplo:

- Sea una muestra de la aleación de 500.00 mg.
- Peso del botón después de la copelación 492.00 mg
- Ley en metal precioso Au + Ag $\frac{492.00 \cdot 1000}{500.00} = 984 \%$

c) Determinación aproximada de la ley en oro:

La prueba aproximativa tiene como meta determinar la ley acercada en oro, plata y metales comunes, a fin de constituir pruebas comparativas y corregir las eventuales pérdidas o sobrecargas ocurridas durante la copelación.

El botón que sirvió a la determinación del “total precioso” se envuelve de nuevo en una hoja de plomo en presencia de 2.7 veces su peso de plata y se copela en las mismas condiciones que para la determinación del “total precioso”. En este caso, no es preciso añadir plomo en pastilla en la copelación, los metales comunes fueron eliminados ya a la primera copelación.

La hoja de plomo basta para constituir la aleación oro-plata destinada a ser disuelta.

Es imperativo respetar las proporciones de plata a añadir. Si la cantidad es demasiado débil, la disolución de la plata añadida así como la contenida en el botón no será completa, provocando luego una “sobrecarga”. Una cantidad demasiado importante de plata favorece la fragmentación del oro, que provoca, en las manipulaciones, una pérdida del metal.

d) Preparación de los botones con vistas a la disolución:

- Disolución

Los dos capítulos desarrollados antes se aplican a la determinación de la ley aproximativa y de la ley definitiva.

- Preparación

Después del enfriamiento, se quitan los botones de las copelas y se cepillan a fin de eliminar las partículas de la copela. Se aplana el botón, en una sola dirección si es posible, formando un pedazo, por medio de un tas y un martillo con superficies perfectamente pulidas, hasta conseguir una lengüeta de 2 cm de longitud y de 2 mm aproximadamente de espesor.

Antes de la operación de laminado, la lengüeta se cocerá de nuevo hasta enrojecer, sobre un quemador de gas a fin de dar a la aleación su maneabilidad. Ya que el tratamiento mecánico la ha vuelta dura y quebradiza, el laminado se realiza en 2 pasos sucesivos hasta obtención de una venda de casi 10 mm de anchura, 0.25 a 0.5 mm de espesor y de una longitud que varía con la masa del botón entre 25 a 70 mm.

Después de haber sido laminadas, las lengüetas se cocen de nuevo para aduñarlas, luego se enrollan entre el pulgar y el índice en forma de corneta.

e) Disolución y recocido de las cornetas:

Las cornetas preparadas como acabamos de explicarlo, están ahora listas para la separación del oro y de la plata por tratamiento ácido. Este tratamiento se realiza en recipientes de vidrio de tipo “matraz” colocados en una rampa de disolución.

Es usual tener con anticipación una cantidad conveniente de las dos disoluciones de ácidos requeridas para la disolución. Se llaman ácidos de separación.

El primero es el más flojo y solo se utiliza para el primer ataque de las cornetas. Su densidad es de 22° Baume. Luego hace falta mezclar 407 cc de ácido concentrado puro con 593 cc de agua destilada desmineralizada para obtener 1 litro de ácido flojo.

Después del tratamiento por este ácido, la casi totalidad de la plata pasa en solución al estado de nitrato de plata.

El segundo es más fuerte y sirve a eliminar las últimas cantidades de plata que quedan en la corneta. La densidad es de 32° Baume. Para 1 litro de mezcla, hay que mezclar 698 cc de ácido nítrico concentrado con 302 cc de agua destilada.

f) Disolución:

Se introduce la corneta en el “matraz” en el cual se echo previamente 50 cc del primer acido. Se coloca en la rampa de disolución y se mantiene en ebullición hasta completa desaparición de los vapores nitrosos.

Luego se quita el matraz y la solución acida es cuidadosamente decantada en una cuba de recuperación de la plata teniendo cuidado como acarrear la corneta y las pequeñas partículas de oro que se pueden despegar.

Se coloca de nuevo el “matraz” sobre el quemador en presencia de 50 cc del segundo acido y se lleva el conjunto a ebullición durante 15 minutos.

Se nota, durante la ebullición, que se pueden producir repullos. Es aconsejado en este caso, introducir en el matraz un cuerpo extraño que cataliza la ebullición y la vuelve mas regular. En general se utiliza una pastilla de reflon de 5 mm de espesor y 10 mm de diámetro.

Después de la ebullición del 2do acido, se quita el frasco y se decanta cuidadosamente el acido. Entonces se lava el frasco por decantación con agua caliente. Si algunas partículas de oro se despegaron de la corneta, hay que dejarlas tiempo para que se depositen antes de cada decantación.

Después de la ultima decantación, el frasco se llena con agua hasta el borde, se vuelta en la apertura un pequeño crisol poroso llamado “crisol a recocer”, luego rápidamente, se invierte el conjunto.

El oro puro que posee en aquel momento un color oscuro y que es muy frágil, se cae rápidamente y se recoge en el crisol. Se vacía el agua de crisol, se quita la pastilla de teflón, se seca el crisol que se recose al rojo subido.

La corneta esponjosa conseguida después de la disolución es normalmente en forma alotrópica inestable. El hecho de recocerlo, le vuelve su color amarillo característico.

Por fin se pesa la corneta enfriada.

g) Ejemplo de calculo de la ley aproximativa con vistas de la determinación de las pruebas testigos:

Si tomamos los datos del 1er ejemplo numérico:

- Peso de la muestra 500 mg
- Peso del botón de oro + plata 492 mg
- Peso de la corneta de oro 480 mg

Las leyes son respectivamente de:

$$\text{Oro + plata} \quad \frac{492 \cdot 1000}{500} = 984 \%$$

$$\text{Oro} \quad \frac{480 \cdot 1000}{500} = 960 \%$$

$$\text{Cobre} \quad 1000 - 984 = 16 \%$$

$$\text{Plata} \quad 984 - 960 = 24 \%$$

h) Pruebas con testigo :

Acabamos de desmontar en las anotaciones precedentes que los errores durante la copelación o la disolución, aunque bastante escasos, tienen una importancia suficiente para influir más o menos sobre la precisión de las pruebas.

Para constituir testigos, hay que tener a disposición oro, plata y cobre puros.

Los testigos sufren las mismas manipulaciones juntos y en las mismas condiciones que las tomas de pruebas sean realizadas de una manera en absoluto comparable.

Ya que son de misma composición y del mismo peso y tratadas exactamente del mismo modo, el testigo puede razonablemente considerarse como teniendo la misma sobrecarga o la misma pérdida que la toma de prueba. Los testigos se constituyen a partir de los datos conseguidos por medio de la prueba preliminar.

Suponemos que la prueba preliminar de una aleación de oro indique la composición siguiente:

Para 0.5 g	Oro	0.480 gr	sea 960 %
	Plata	0.012 gr	sea 24 %
	Cobre	0.008 gr	sea 16 %

El peso total de la plata necesaria sería de $0.480 \cdot 2.7 = 1.296$ gr del cual hay que deducir la plata existente en la aleación. Lo que nos da $1.296 - 0.012 = 1.284$ gr representando el peso real de la plata a añadir en la toma de prueba.

Luego se constituye el testigo por los pesos siguientes de metales puros:

Oro puro	0.480 g
Plata pura	1.284 g
Cobre puro	0.008 g

Estos metales se envuelten en el mismo peso de plomo utilizado para las tomas de pruebas, luego se copelan testigos y pruebas y se disuelven al lado uno de otro en las mismas condiciones y de la misma manera que en la prueba preliminar.

i) Corrección de la ley:

Suponemos que el oro conseguido después de la disolución del testigo pese 0.4804 g, la ganancia de peso o la sobrecarga alcanza 0.0004 g. Este peso tendrá que deducirse de los resultados conseguidos sobre todas las pruebas pasadas al mismo tiempo.

Ejemplo: Peso de oro conseguido después de la disolución de las pruebas para una toma de prueba de 500 mg:

Oro = 0.4785 g

Sobrecarga = 0.0004 g

Ley en oro de la aleación: $\frac{0.4785 - 0.0004}{500} = 956.2\%$

Si al contrario se noto una perdida de peso sobre los testigos, en la copelación y la disolución, hara falta añadir este valor a las pruebas conseguidas.

Ejemplo:

Peso de oro conseguid después disolución de las pruebas para una toma de prueba de 500 mg: 0.47790 g

Perdida : 0.0002 g.

Ley en oro de la aleación: $\frac{0.47790 + 0.0002}{500} = 956.2\%$

j) Determinación de la ley de plata

La ley en plata se calcula con arreglo al total precioso oro + plata conseguido en la determinación del total precioso y de la ley definitiva en oro.

$$\text{Plata : } 984 - 956.2 = 27.80 \%$$



Foto 12.- Copela con dore platoso

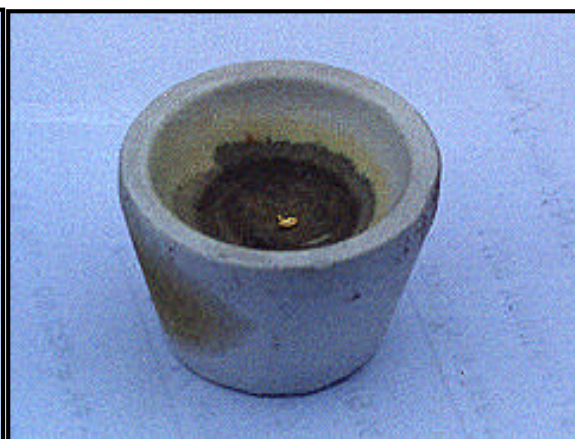


Foto 13.- Copela con dore

3.2.2.2. Control de Calidad por Rayos X

Este tipo de análisis instrumental se basa a grandes rasgos en la incidencia de un haz de rayos X sobre la superficie del material analizado y la provocación por esos rayos X de una excitación de los átomos que emiten una cierta cantidad de radiación que será acorde a la cantidad de átomos presentes, dicha radiación es medida y cuantificada lo que provoca una lectura en dicho equipo.

Este sistema de análisis tiene gran aceptación para la determinación de espesores en joyería chapeada.

Estos equipos como todo equipo de medición son buenos siempre y cuando se tenga la precaución de una adecuada calibración, es como una balanza electrónica mal calibrada, esta balanza por muy buena que sea dará resultados erróneos si no recibe su calibración de la manera correcta.

Esta calibración es hecha por muestras estándares de un kilataje conocido después tomada la lectura de la muestra a analizar y posteriormente valoradas por el equipo mediante un programa de computadora.

Los márgenes de error para un equipo de este tipo en particular son de dos a cuatro milésimas siempre y cuando exista una calibración adecuada y condiciones ideales de lectura.

Estos equipos dan una lectura superficial , ya que la penetración de un equipo de este tipo es de solamente 65 micras (una micra es igual a 0.001 milímetros dato tomado de la Norma W-45 -1976 Artículos con Recubrimiento de Oro y de Aleaciones de Oro) es decir la penetración máxima es de 0.065 milímetros (en un diámetro de 5 a 8 milímetros) algo así como el grosor de una hoja de papel después de ese espesor el equipo ya no detecta el material existente , es decir si se cubre una pieza de plata , cobre etc. con una capa de oro desde dos (2) milímetros el equipo detectara que dicha pieza es toda de oro sin importar que probablemente el alma de dicha pieza no sea de oro sino de material común cobre , plata o que los contenga en su interior .

Recuérdese que se hacia mención que este tipo de equipo se utilizaba para la determinación de espesores y calidad de deposito en joyería chapeada. Esto sucede por los principios físicos en los que esta basado este sistema de análisis, no por que el equipo sea de mala calidad, salvo su error estadístico este equipo debería ser hasta cierto punto confiable en sus lecturas, teniendo las condiciones ideales para dichas lecturas.

Sus lecturas deberían de encontrarse en limites tolerables o aceptables cuando se tienen las condiciones ideales de lectura, pero cuando se varían , el equipo aun que funcione adecuadamente dará su lectura correcta pero estadísticamente se cometa un error al determinar el kilataje de una pieza analizada.

3.2.2.3. Control de la Calidad del oro fino por Espectrofotometría de Absorción Atómica:

Este método tiene como meta clasificar todas las impurezas contenidas en una aleación de oro, a fin de sustituirlas y conseguir así la ley en oro puro por diferencia.

Este método se aplica esencialmente para aleaciones que contienen al mínimo 999.0 % de oro.

Las impurezas a clasificar son las que se suelen encontrar en los oros refinados.

- Para los metales preciosos : Ag, Pt, Pd
- Para los metales comunes: Cu, Ni, Fe, Pb, Zn, Cd.

Después de la puesta en solución por reactivos ultra puros, se dosifica cada elemento sucesivamente en comparación con una solución patrón que corresponde al elemento a dosificar.

a) Toma de prueba:

Se determina la toma de prueba con arreglo a una ley aproximativa realizada por copelación.

Si la ley ronda los 999 %, la toma de prueba es de 1 g. Si la ley es equivalente o superior a 999.5 %, la toma de prueba a realizar es de 2 g.

b) Puesta en solución:

La puesta en solución se realiza con agua regia (mezcla de 1/3 de ácido nítrico y de 2/3 de ácido clorhídrico). Después del ataque total de la muestra, hay que echar el exceso de ácido nítrico y reducir la acidez al máximo, estos dos factores podrían engendrar interferencias en la dosificación.

La solución así conseguida se echa en un frasco calibrado de 100 cc. El aparato de absorción atómica se ajusta con arreglo a parámetros establecidos por el constructor (longitud de onda, intensidad de la lámpara). Por fin este método es fiable y preciso con tal que se conozca la naturaleza de todos los elementos que constituyen la aleación. En este caso solo, se puede determinar la ley en oro a casi el 0.02%.



Foto N° 14. Pruebas con Espectrofotometría de Absorción Atómica

3.2.2.4. Control de Calidad por Espectrofotómetro de Plasma ICP

Por una nube de gases en estado de plasma se hace pasar una solución de oro y por las altas temperaturas todos los átomos de todos los elementos se excitan y emiten radiaciones las cuales pueden ser medidas, es posible hacer lecturas múltiples de elementos diferentes. Es reconocido el sistema.

3.2.2.5. Métodos de Preparación de Muestras

Los métodos de preparación de muestras prescritos son tradicionales. Son diferentes según se destinan al oro bruto que entra en la sociedad o al oro fino que sale de la sociedad.

3.2.2.5.1. Preparación del oro bruto que entra en la sociedad:

Cualquiera que sea la forma del oro que llega en la sociedad: polvos, bolas, lingoteras o lingotes, cada lote se funde de nuevo individualmente para asegurarse de que no hay producto traficado, y a fin de conseguir una aleación homogénea sencillamente analizable.

Si el metal se presenta en forma de lingote o de barra, también se funde de nuevo a fin de tener la garantía de que no es demasiado traficado. En efecto, puede ocurrir que unos lingotes esten “ferrados” con una barra de tungsteno, ya que este metal tiene una densidad cerca del oro.

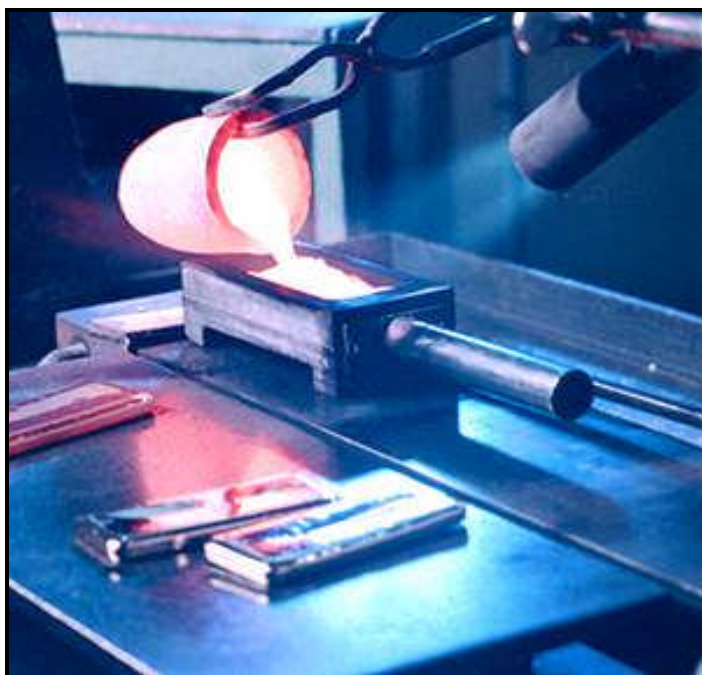


Foto N° 15. Fusión del lingote de Oro



Foto N° 16. Marcado de las barras ya fundidas

a) Segregación o licuación en los metales brutos:

Uno sabe que cuando se funde juntos dos o varios metales y que se espera que enfríen, es raro que la aleación que resulta se solidifique enteramente a una temperatura definida. Normalmente, una parte se solidifica, la primera se separa de las otras partes constitutivas del conjunto que, a su vez, se solidifican a temperaturas más bajas.

La segregación ocurre más o menos, pero siempre en las barras que contienen cobre, ya que la plata está concentrada hacia el centro o la periferia de la masa que está enfriándose, conforme sean preponderantes el cobre o la plata.

b) Preparación de muestras de las masas brutas:

Ya que pueden ocurrir segregaciones en el transcurso de la solidificación de los lingotes, los métodos de preparación de muestras a finales de las pruebas tienen una importancia considerable. Cuando las barras han sido limpiadas en un baño ácido después de la colada, la superficie en la cual se realizara el análisis tendrá que ser raspada antes de operar, ya que la superficie del lingote es normalmente más rica que el interior por causa de la desoxidación. Se utilizan cuatro métodos para analizar las barras de oro:

1. El corte o descornado
2. La perforación
3. La muestra a la gota o extracción
4. El graneado.

b.1.- Preparación de muestra por corte:

Este método consiste en cortar los cuernos de las esquinas opuestas de la barra. Con metales brutos, con una ley alta. Estas tomas de muestra son normalmente representativas de la barra entera, pero no valen cuando la barra no es homogénea.

En el caso de lingote de oro fino, se toma una muestra cortando el medio de una de las aristas inferiores del lingote. Las muestras por corte se realizan por medio de un buril de acero.



Foto N° 17. Barras de oro fino

b.2.- Preparación de muestra por perforación del taladro:

En este método, se perfora la barra encima y debajo con una pequeña broca. Las perforaciones de superficie conseguidas se rechazan, las que se consigue después se recogen y servirán para la prueba. Normalmente, una de las perforaciones se hace en una parte de la superficie de la barra y otra en una parte opuesta en la base del lingote.

Cuando se sabe que la barra no es homogénea, se hace cuatro perforaciones, dos encima del lingote y dos en el fondo. Las dos muestras de encima se mezclaran para hacer una sola muestra y las dos debajo se mezclaran para formar una segunda muestra.

b.3.- Preparación de muestra por muestra a la gota:

Se saca una muestra por excavación en el metal en fusión, justo antes de la colada por medio de una barrita hueca de grafito o de cuarzo previamente calentada.

Normalmente, se saca una muestra debajo del crisol, una segunda en medio de la colada y una tercera a finales de la colada. Por este medio, se puede sacar en una sola vez tres muestras en tres puntos del metal fundido.

b.4.- Preparación de muestra por graneado:

Se granea el metal dejándolo colar en el agua. Cuando se ha fundido el metal bruto, se mezcla bien y se toma dos muestras por medio de una cuchara de grafito, una al fondo del crisol y otra encima. Se echa cada muestra rápidamente y regularmente en un recipiente que contiene agua caliente. Las granallas que proceden de cada muestra se recogen separadamente. Este método de preparación de muestra es adecuado para bruto de alta calidad, pero no es satisfactorio para aleaciones impuras, ya que el hecho de colar en el agua puede provocar una oxidación parcial de ciertos metales comunes

contenidos, lo que tiene como resultado de alterar las composiciones de la muestra que deja de ser representativa del todo.

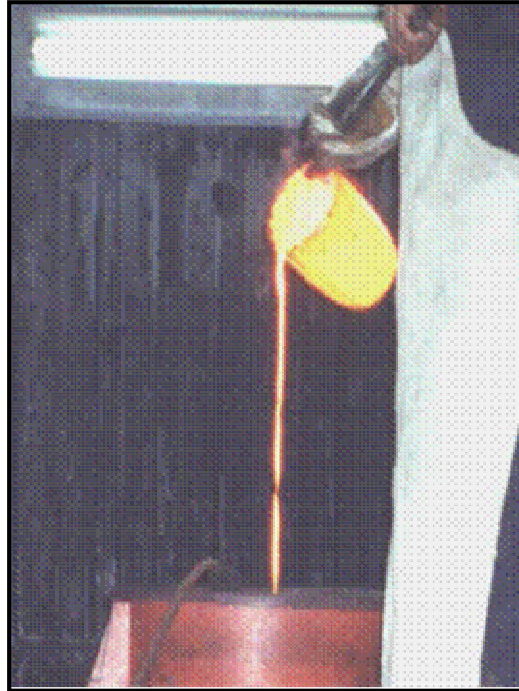


Foto N° 18. Momentos en que se realiza el Granallado



Foto N° 19. Granallas de Oro

3.3. Experimentación

Se han considerado la ejecución de 4 experimentos. La cantidad de oro disponible es de 1244 gr de oro refogado, para nuestra evaluación se dividen equitativamente en 4 partes para tener 311 gr. para cada método:

La secuencia de experimentación la describimos dentro del marco operativo de esta evaluación.

En este cuadro también hemos considerado las concentraciones de los ácidos con la cuales han de realizarse las evaluaciones, estas cantidades son las que se requieren para disolver el oro o los metales que acompañan a este.

Tabla N° 14. Cantidad de Oro a Refinar

Método	Peso Inicial gr.	Concentración de Acido Nítrico	Concentración Agua Regia
Acido. Nítrico	311.00	4 veces la cantidad inicial concentrado	No precisa
Agua Regia	311.00	No precisa	3.5 veces la cantidad inicial concentrado
Agua Regia con Incuarte	311.00	No precisa	3.5 veces la cantidad inicial concentrado
Outokumpu	311.00	4 veces la cantidad inicial concentrado	1.5 veces la cantidad inicial concentrado

Fuente: Elaboración Propia

Las cantidades y las concentraciones de los ácidos para los diferentes métodos han sido obtenidas con la experiencia de trabajo.

3.4 Algoritmo de la Evaluación

El algoritmo nos permite definir la secuencia de la presente evaluación. El cual se muestra en el Diagrama N° 12

¡Error!

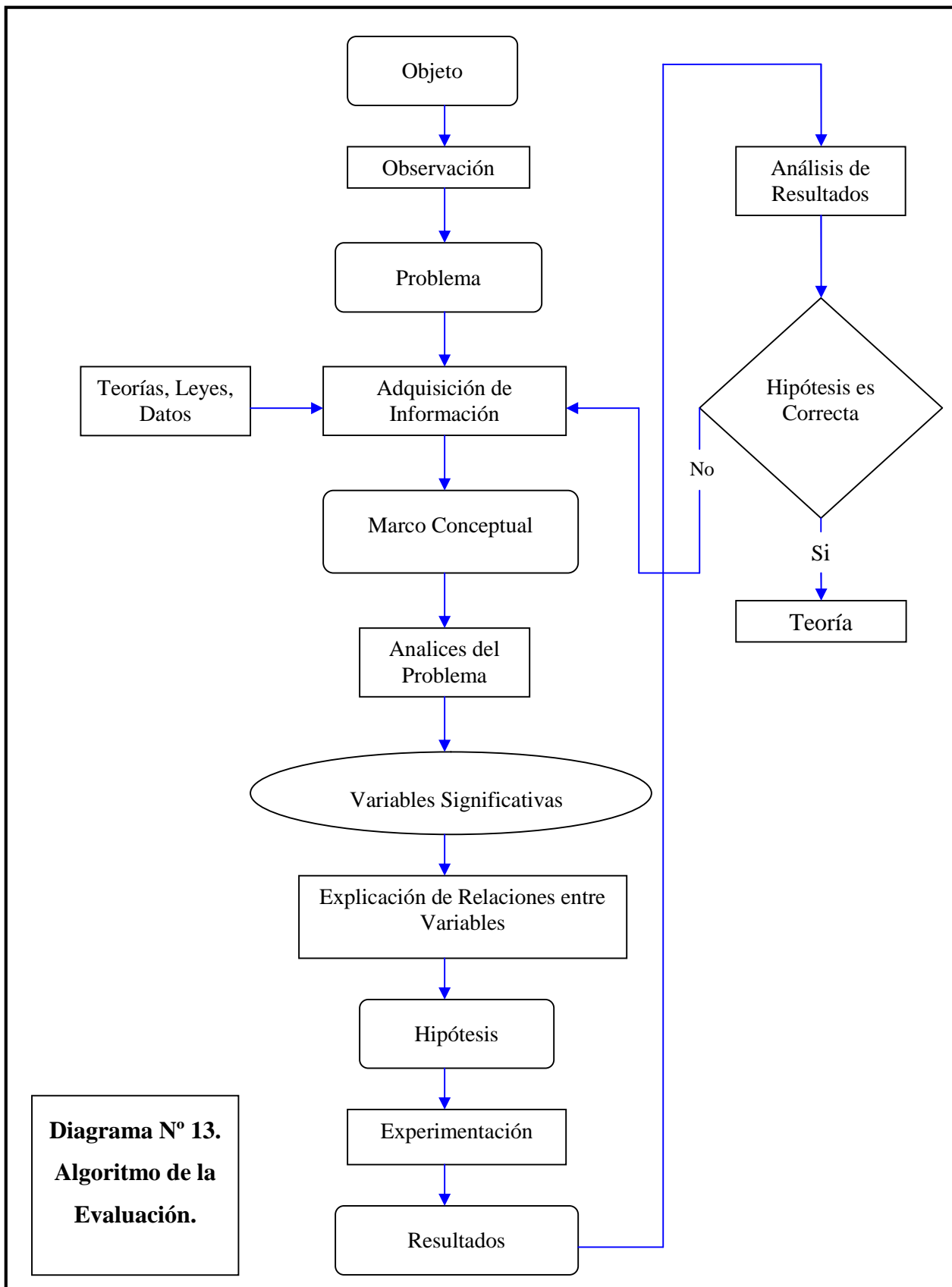


Diagrama N° 13.
Algoritmo de la
Evaluación.

3.5 Marco Operativo

En el anexo 3 se muestra el Flow Sheet del Proceso de Refinación de Oro. A continuación precisamos los procesos que se realizaran para la refinación de oro

3.5.1 Descripción del proceso de refinación de oro.

3.5.1.1 Recepción, pesado

El material a refinar se encuentra en forma de oro refogado, en esta etapa se toma el peso inicial del mineral.

3.5.1.2 Fundición y muestreo

El material a refinar es colocado en un horno a gas, y se lleva el material a su estado de fusión. En esta etapa se toma la primera muestra de mineral para su posterior análisis, tomamos una muestra de a. 0.6 gr. de oro.

3.5.1.3 Preparación del material a refinar

El oro es granallado para permitir una mayor área de contacto, se usa un recipiente de acero inoxidable de una capacidad de 30 litros llenándose hasta un 80% con agua, esta operación se realizan con dos personas, mientras una agita violentamente, la otra va vertiendo el contenido del crisol dentro del agua del recipiente, muy despacio, con un chorro lo mas fino posible pero continuo, obteniéndose fracciones de metal que es secado y pesado para comprobar que no han habido pérdidas.

3.5.1.4 Lixiviación y disolución

El proceso es de refinación química convencional y tiene por objetivo la obtención de oro y la plata con una pureza mayor a 99 %.

a. Ataque con ácido nítrico.

- Se toma ácido nítrico lo mas puro posible, totalmente exento de ácido clorhídrico y se separa una cantidad en peso de tres veces al del metal.
- Se añade el ácido en el recipiente de vidrio junto con el material a refinar, inmediatamente se produce una reacción violenta, con gran desprendimiento de vapores rojos, nitrosos, cuando el ácido haya dejado de hervir y ya no se produzcan vapores rojos, habrá cesado el ataque y el ácido antes incoloro y transparente habrá tomado un fuerte color verde/azulado.
- Se deja enfriar y se elimina el ácido, por decantación, cuidando que junto con el mismo, no se vayan partículas de oro.

- Se vuelve a colocar el material de vidrio junto con el oro en la plancha de ataque y se vuelve a añadir ácido nítrico puro.
- Se deja hervir hasta que cese el desprendimiento de vapores rojos y se deja enfriar.
- Estas operaciones se van repitiendo hasta que al renovar el ácido éste ya no hierva, no haya desprendimiento de gases y el ácido no cambie de color.
- Se deja enfriar y se decanta nuevamente el ácido
- Cuando el ácido nítrico hirviendo no ataca ni cambia de color se considera que todo que no sea oro ha quedado disuelto y que lo que queda en el material de vidrio, unas partículas de color marrón oscuro, es oro fino.
- Se añade agua destilada, preferiblemente caliente, se agita y se filtra.
- Se continua lavando con agua destilada caliente por dos veces mas.
- Se deja secar entre 70 a 80 °C para posteriormente en un crisol de grafito, fundirlo.
- El oro contenido en el crisol habrá cambiado su color marrón oscuro por el color amarillo característico del oro fino.



Foto 20. Realizando los ataques para la disolución de las impurezas

b. Disolución con agua regia.

En este caso se trata de disolver el oro, junto con otros metales que puedan contener, separarlo por filtración de los metales que no se disuelven, como por ejemplo la plata y, finalmente, se precipita selectivamente solo el oro quedando el resto de metales en solución.

El principal inconveniente que se puede presentar es la plata, si este sobrepasa determinados porcentajes, se queda adherida al oro, formando una barrera entre el ácido y el oro que impide que el agua regia ataque a éste último.

A continuación se pasa a describir esta disolución:

- El oro a afinar, previamente convertido en granalla, se coloca en un material de vidrio, se añade agua regia.
- Se deja que el ataque se inicie en frío, primero será lento, irá aumentando en intensidad y finalmente irá disminuyendo.
- Se coloca en la plancha de ataque.
- Se decanta la solución a otro recipiente para separarla de la plata insoluble que haya podido formarse.
- Se lava el primer recipiente con agua destilada previamente calentada para recoger los restos de agua regia que quedan y esta agua de lavado se incorpora a la solución de agua regia, dejando la plata aparte.
- La solución que contiene el nuevo recipiente, se coloca nuevamente en la plancha de ataque y se deja evaporar hasta que quede reducida a un tercio.
- Se agrega ácido clorhídrico igual a la cantidad inicial de agua regia, se irá añadiendo lentamente para evitar salpicaduras.
- Una vez añadido todo el ácido clorhídrico, se deja evaporar hasta que el líquido tome una consistencia de jarabe.
- Una vez obtenido el jarabe se deja enfriar.
- Se añade ácido clorhídrico en la tercera parte del que se añadió anteriormente.
- Se diluye en tres veces su volumen de agua destilada.
- Se filtra y se lava el filtro con agua destilada que se añade al líquido filtrado.

3.5.1.5 Precipitación del Oro

- A la solución obtenida anteriormente se la calienta a 80°C para en seguida precipitar el oro.
- Adicionar lentamente una solución saturada de bisulfito de sodio y agitar la solución para acelerar la reacción.

- Verificar si la precipitación ha sido completa, para ello se deja sedimentar unos minutos y realizamos la prueba de Púrpura de Cassius (anexo 4).

3.5.1.6 Sedimentado, decantado

El oro precipitado se deja sedimentarse, la solución ya sin oro, se filtra antes de ser depositado en un recipiente y enfriar. Cuando la solución está suficientemente fría (60°C), se procede a retirar la solución, cuidando que el precipitado depositado en el fondo del tanque no sea movido.

3.5.1.7 Filtración y lavado del Precipitado

El precipitado se filtra sin dejar de enfriar del todo y se lava en el mismo filtro con agua destilada caliente hasta eliminar los restos de bisulfito de sodio.

Verter el precipitado a un recipiente, adicionar ácido nítrico y hervir por 5 minutos, luego lavar con abundante agua caliente.

Adicionar solución de hidróxido de amonio 1:1, hervir por 10 minutos y lavar por decantación con abundante agua.

El precipitado es lavado con agua corriente hasta que el pH de la solución de lavado sea similar al pH del agua, luego se procede a filtrar para eliminar la mayor cantidad de agua posible.

3.5.1.8 Secado

El oro precipitado es retirado del filtro y puesto en bandejas de vidrio templado. Se realiza el secado en una mufla a 300 °C por espacio de 3 horas.

3.5.1.9 Fundición y muestreo

El precipitado es colocado conjuntamente con la masa fundente en un crisol de grafito, cuando el oro alcanza el punto de fusión estará listo para ser colado. El oro es muestreado durante la fundición, el mismo que es enviado al laboratorio para comprobar su pureza. El material fundido es pesado y registrado.

3.5.2 Diferencia de Procesos entre los Métodos seleccionados.

En el Tabla N° 15 se muestra las diferencias que existen para cada método a refinar la diferencia mas resaltante:

- Es la incuartaación en los métodos a excepción del Proceso con Agua Regia, que no ha sido necesario incuartaarlo, considerando que la es aceptable para un ataque directo con agua regia

- El Proceso con Acido Nítrico que no requiere precipitación selectiva del oro ya que en este proceso el oro nunca es disuelto.

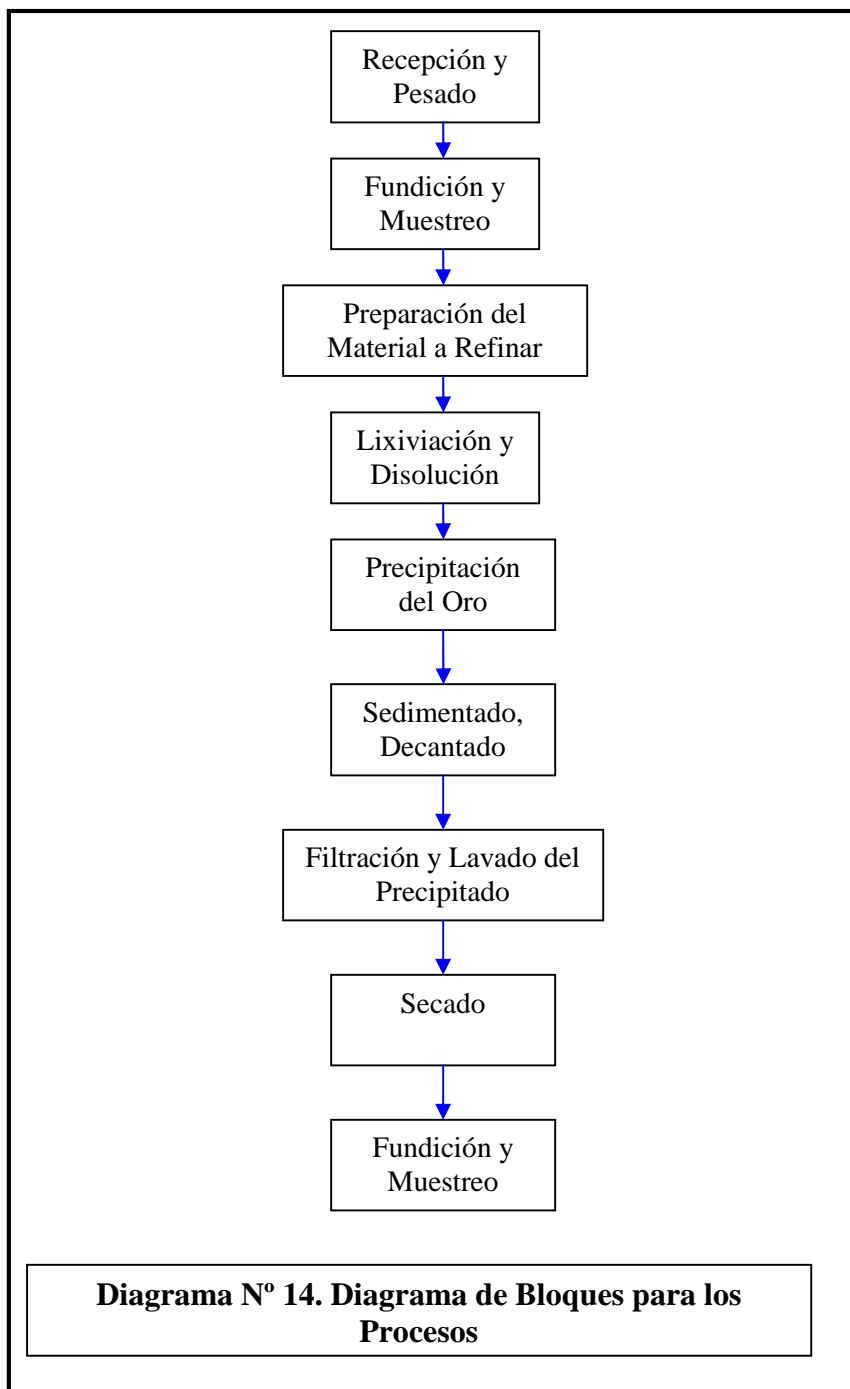


Diagrama N° 15.-Refinería de Oro y Plata para Proceso Ácido Nítrico

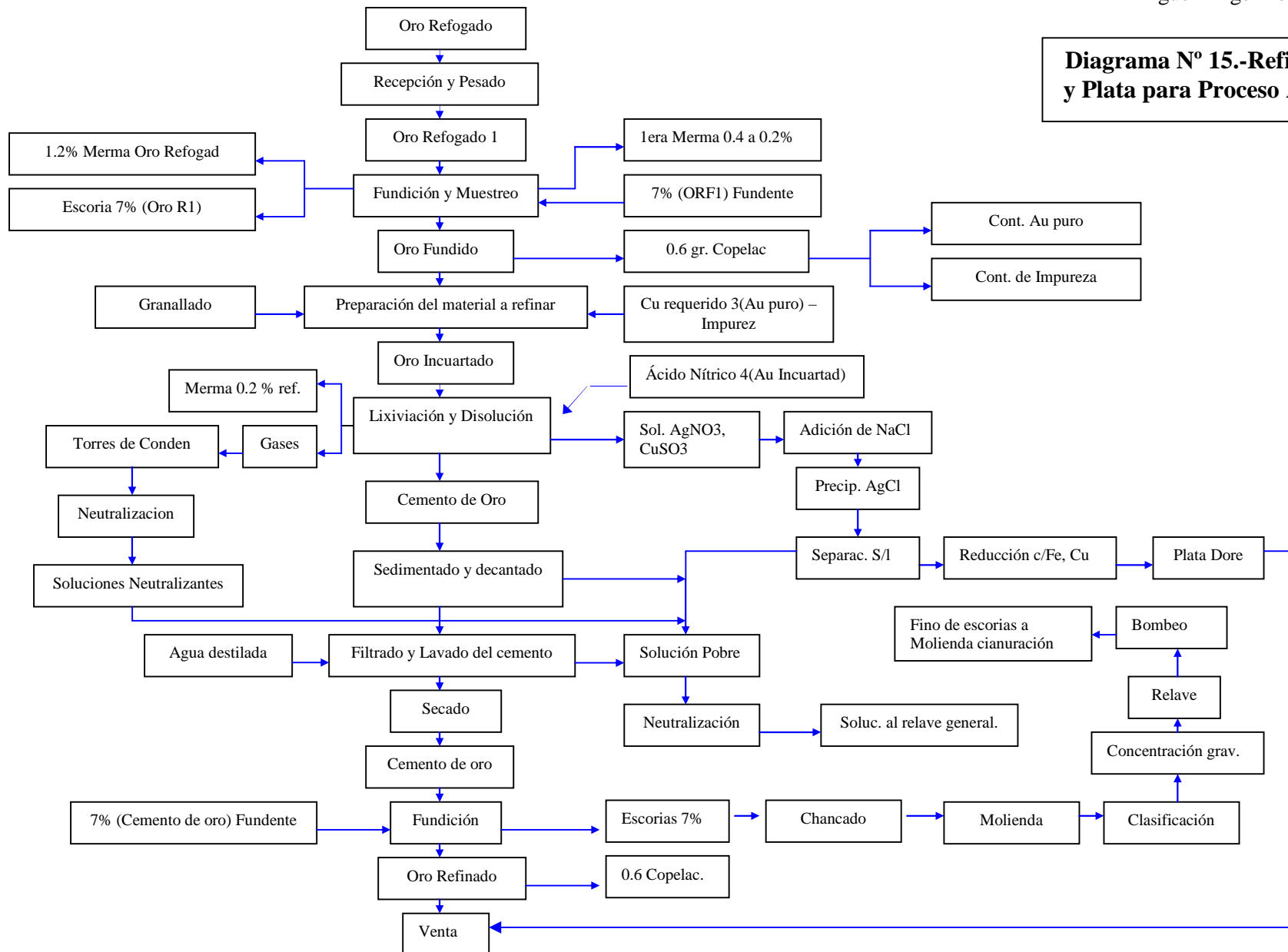


Diagrama N° 16.- Refinería de Oro y Plata para Proceso con Agua Regia

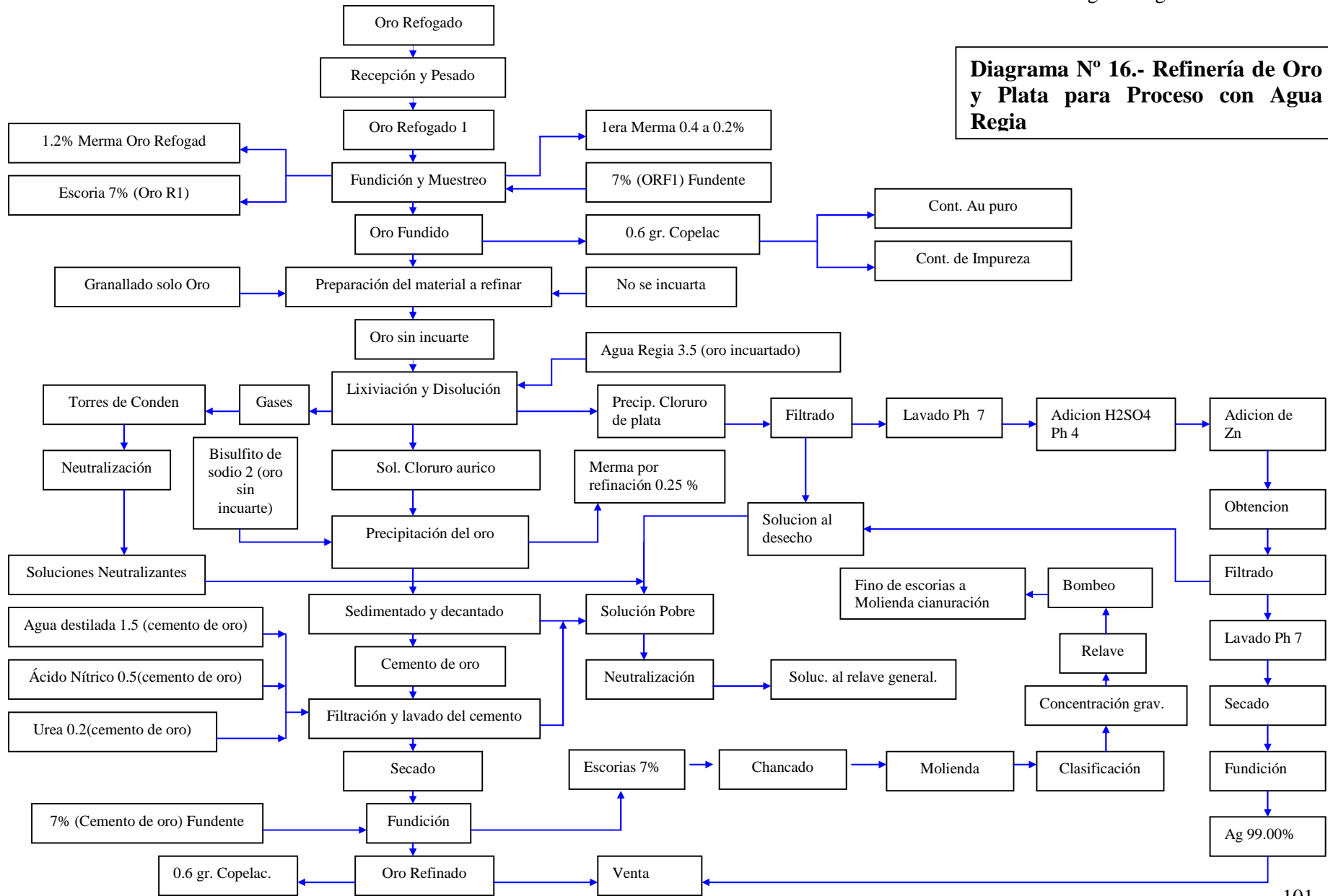


Diagrama N° 17.- Refinería de Oro y Plata para Proceso con Agua Regia previa Incuartacion

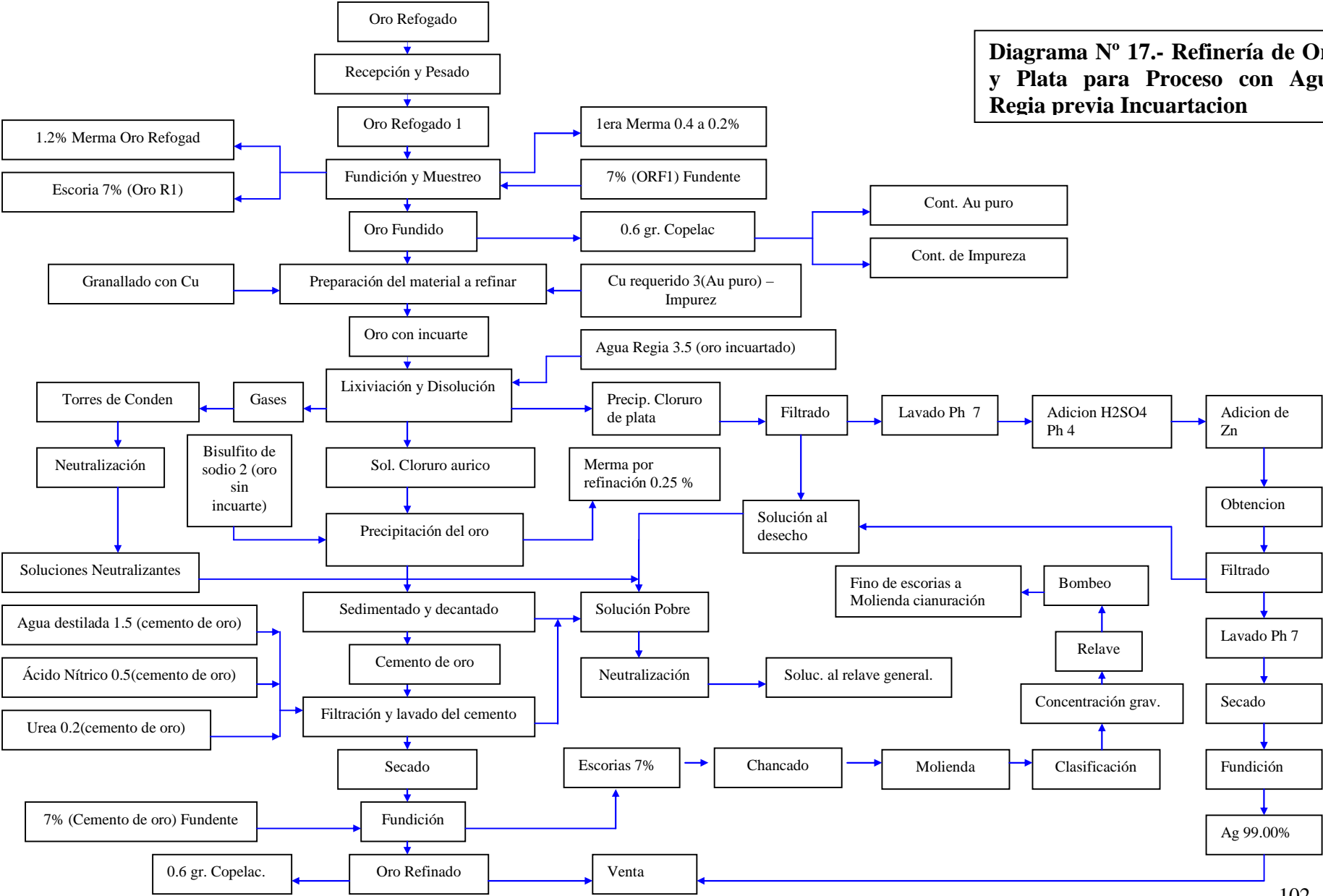


Diagrama N° 18.- Refinería de Oro y Plata para Proceso Outokumpu (modificado)

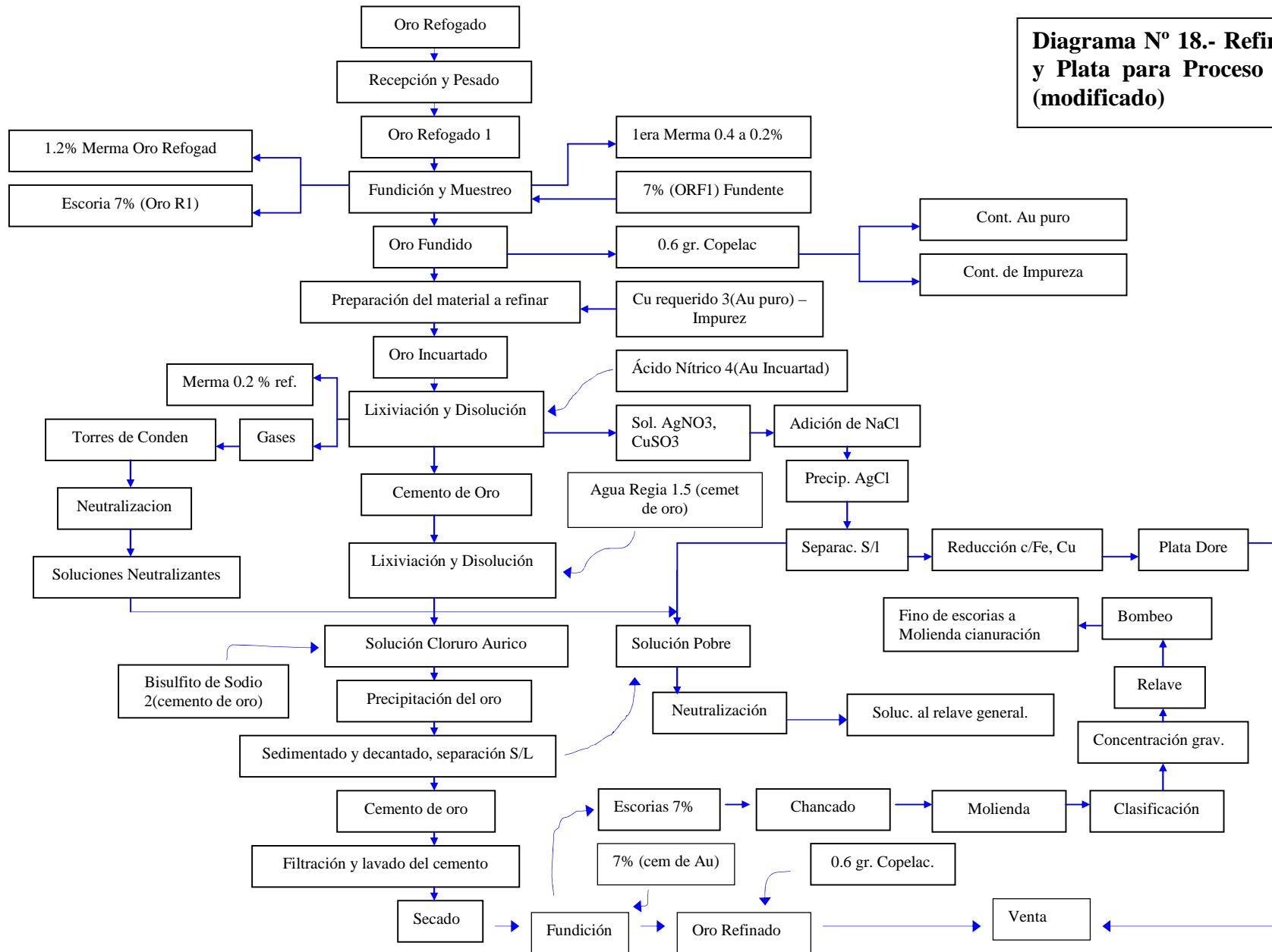


Tabla N° 15. Diferencias de Procesos en los Métodos seleccionados

METODO	PROCESO								
	Recepción Pesado	Fundición y Muestreo	Preparación del Material a refinar		Lixiviación y disolución	Precipitación del oro	Filtración y lavado del precipitado	Secado	Fundición y Muestreo
			Granallado	Incuarte					
Acido Nítrico	Requerido	Requerido	Requerido	Requerido	Requerido	No requerido	Requerido	Requerido	Requerido
Agua Regia	Requerido	Requerido	Requerido	No requerido	Requerido	Requerido	Requerido	Requerido	Requerido
Agua Regia con Incuarte	Requerido	Requerido	Requerido	Requerido	Requerido	Requerido	Requerido	Requerido	Requerido
Outokumpu Modificado	Requerido	Requerido	Requerido	Requerido	Requerido	Requerido	Requerido	Requerido	Requerido

Fuente: Elaboración propia.

3.5.3 Control de Calidad

Los Controles de Calidad que se hacen en estas evaluaciones son:

- Determinación de la ley inicial de oro en el material aurífero por copelación.
- Determinación vía Microscopía electrónica de impurezas en el material aurífero semi-cuantitativo.
- Determinación de la ley de oro final en cada método realizado por copelación.
- Determinación cualitativa de oro en las diferentes etapas de la refinación de oro, por el método de púrpura de Cassius.

3.5.3.1 Análisis del oro.

Para determinar la ley inicial de oro se ha usado Ensayos por Copelación, se han tomado como referencia la norma NTP-ISO 11426, el cual se adjunta como Anexo 5. a este trabajo.

3.5.3.2 Microscopía Electrónica

Se han hecho uso de los laboratorios Microscopía Electrónica de la UNSA. La utilidad de esta prueba radica en que puede proporcionar semi-cuantitativamente la presencia de otros metales en nuestro mineral problema, el uso de este análisis permite definir las recuperaciones de otros metales preciosos, pero en nuestro mineral problema no hay estos otros metales preciosos.

Tabla 16.- Muestra las composiciones en % de impurezas del Oro refogado de Benditani – Carabaya tomados en un punto oscuro de la muestra de oro.

Elemento	Wt %	At %
O	28.2	43.63
Na	1.51	1.63
Al	20.5	18.78
Si	25.6	22.53
K	3.86	2.44
Ca	11.1	6.87
Fe	9.29	4.12
Total	100	100

Cuando recurrimos a la Microscopía Electrónica de la UNSA.

Primero hicimos un barrido de las zonas oscuras, el equipo encontró estos elementos químicos como impurezas, lo que tenemos como datos son sus porcentajes en peso y área del punto oscuro estudiado. Zona A.

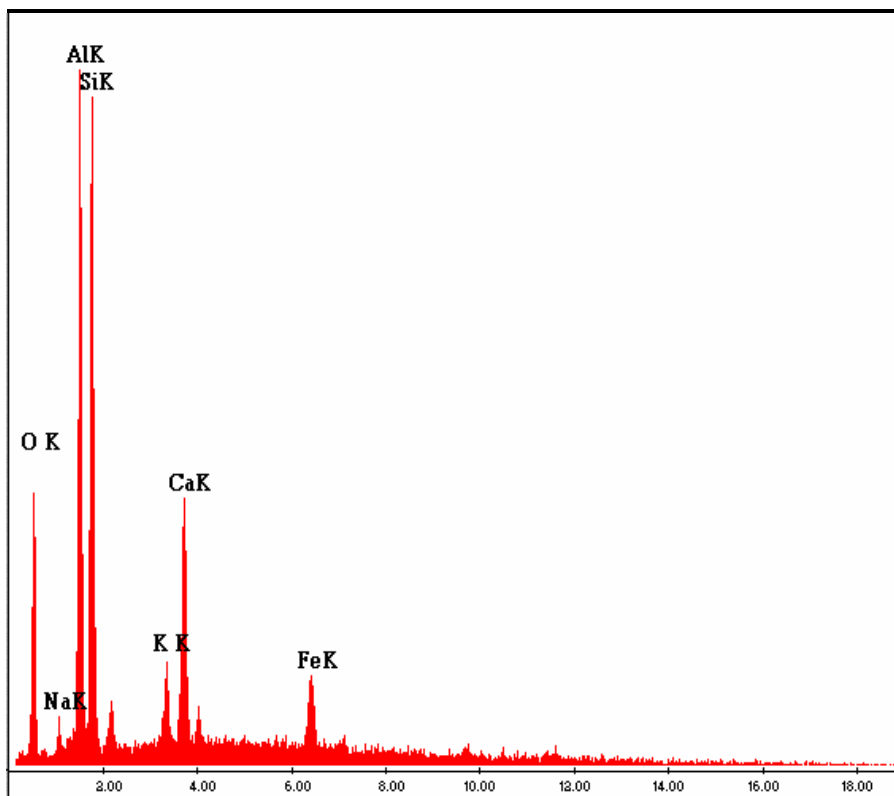


Grafico 3.- Muestra en forma de picos las concentraciones de Impurezas del Oro Refogado de Benditani – Carabaya. CENTRO DE MICROSCOPIA ELECTRONICA - UNSA

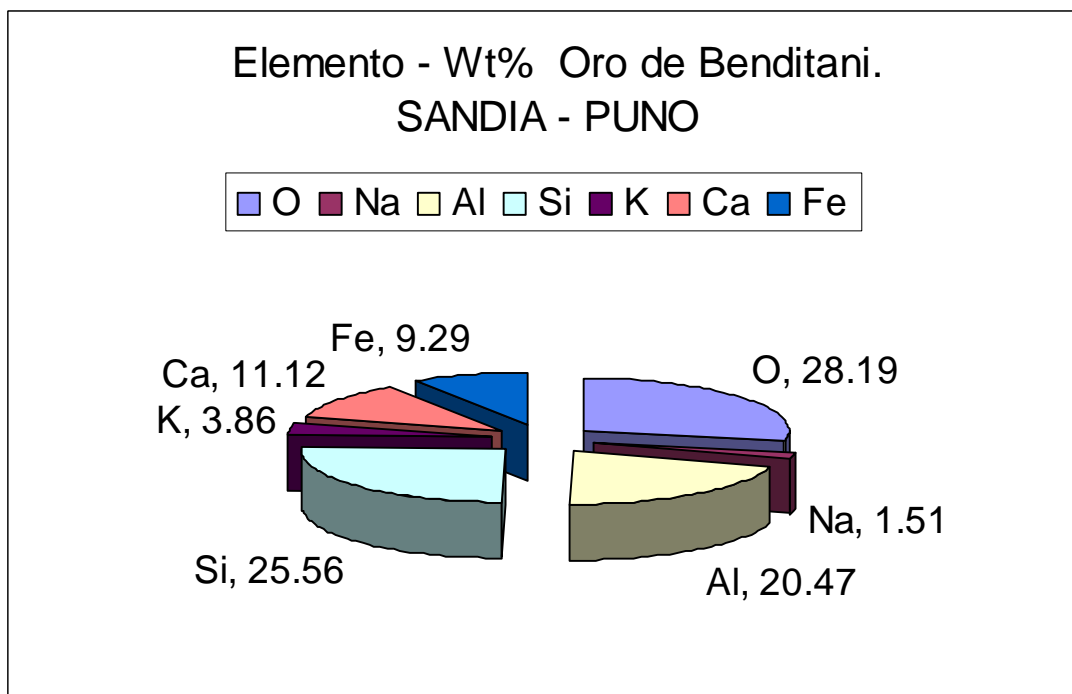


Grafico 3.1 Punto Oscuro de la muestra de Oro de Benditani. Elemento – Wt%

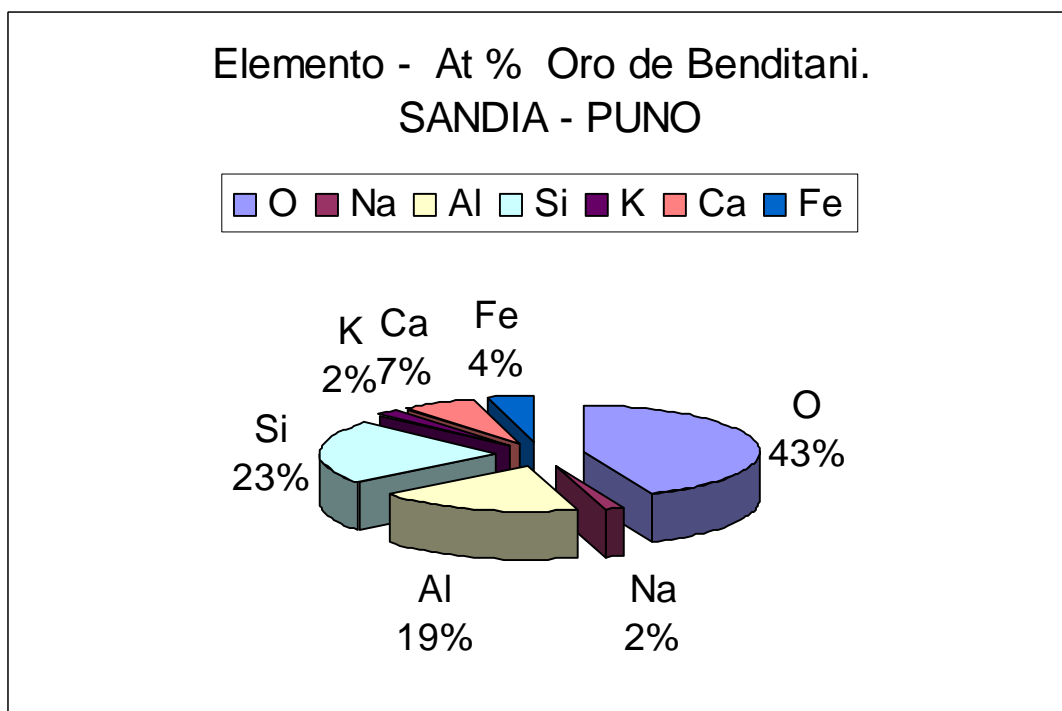


Grafico 3.2 Punto Oscuro de la muestra de Oro de Benditani. Elemento – At%

Tabla 17.- Muestra las composiciones en % de los elementos químicos presentes en la muestra de Oro refogado de Benditani – Carabaya tomados en forma global en la muestra de oro.

Elemento	Wt %	At %
O	3.520	27.960
Na	0.200	1.100
Mg	0.150	0.770
Al	0.340	1.610
Si	1.540	7.000
Fe	0.000	0.000
Ag	1.280	1.510
Au	92.97	60.06
Total	100	100

Segundo. Después hicimos un barrido total de la muestra de oro de Benditani y encontramos la composición total de la muestra, podemos apreciar los cuadros y las graficas para su mejor comprensión del estudio.

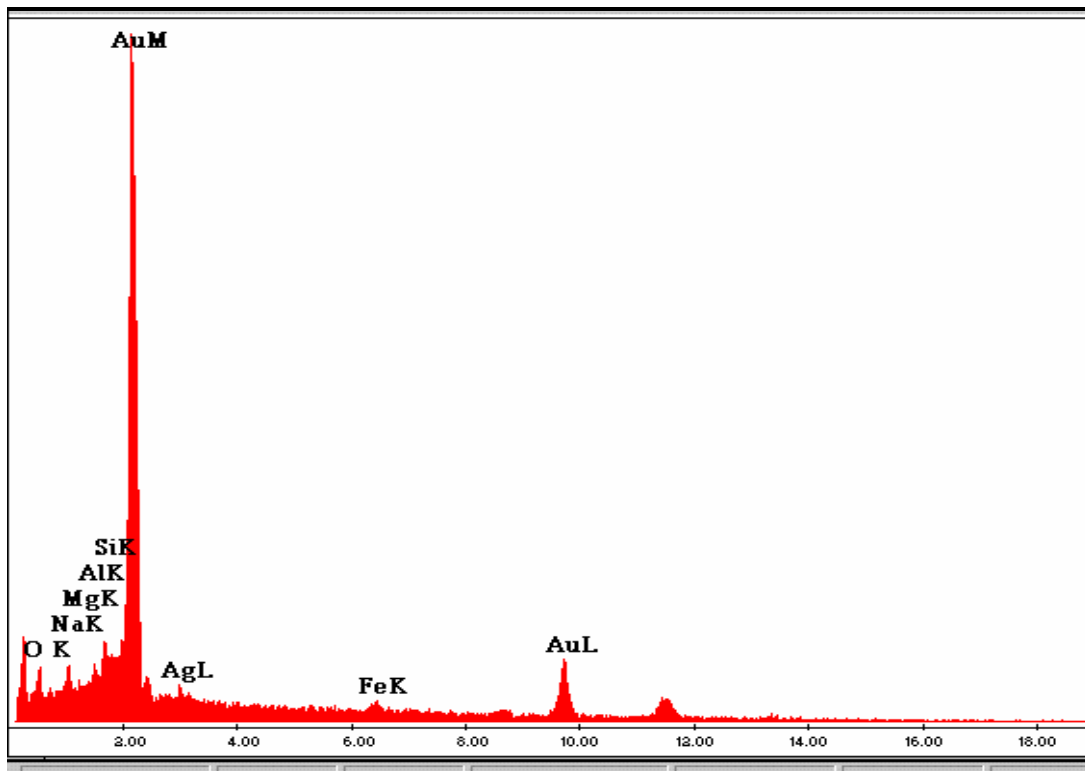


Grafico 4.- Muestra en forma de picos las concentraciones de los elementos químicos que conforman el Oro Refogado de Benditani – Carabaya. CENTRO DE MICROSCOPIA ELECTRONICA - UNSA

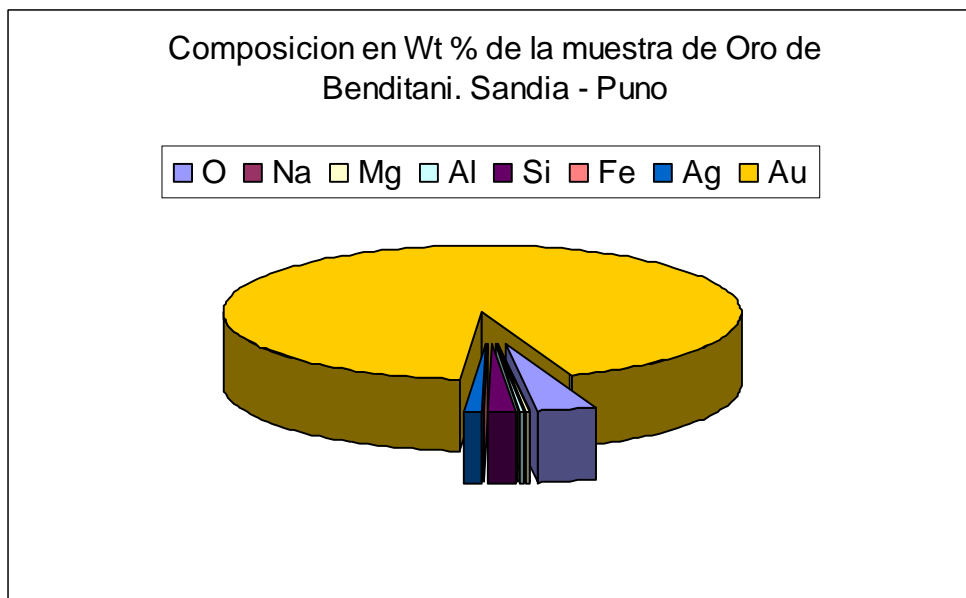


Grafico 4.1 Muestra completa del Oro de Benditani. Elemento – Wt%

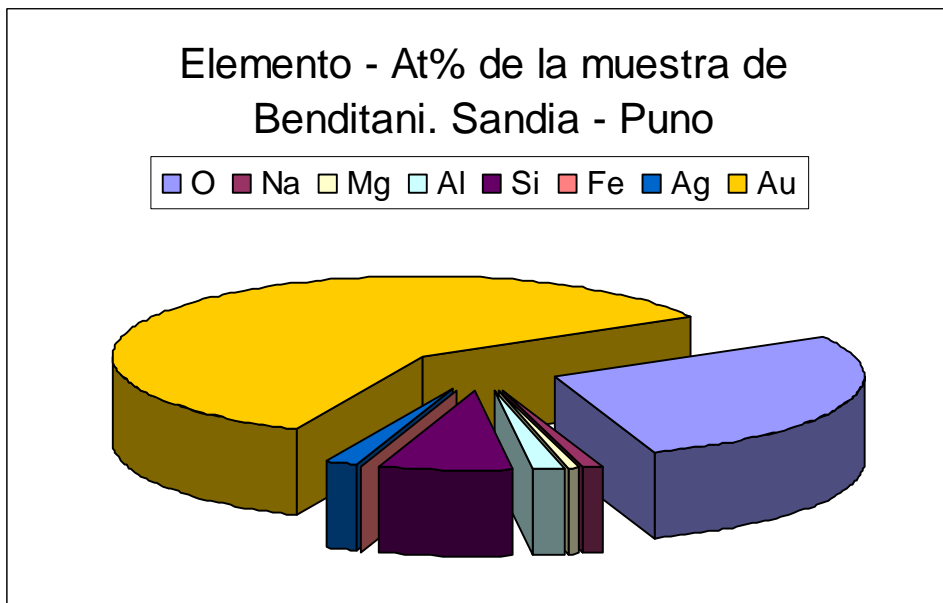


Grafico 4.2 Muestra completa del Oro de Benditani. Elemento – At%

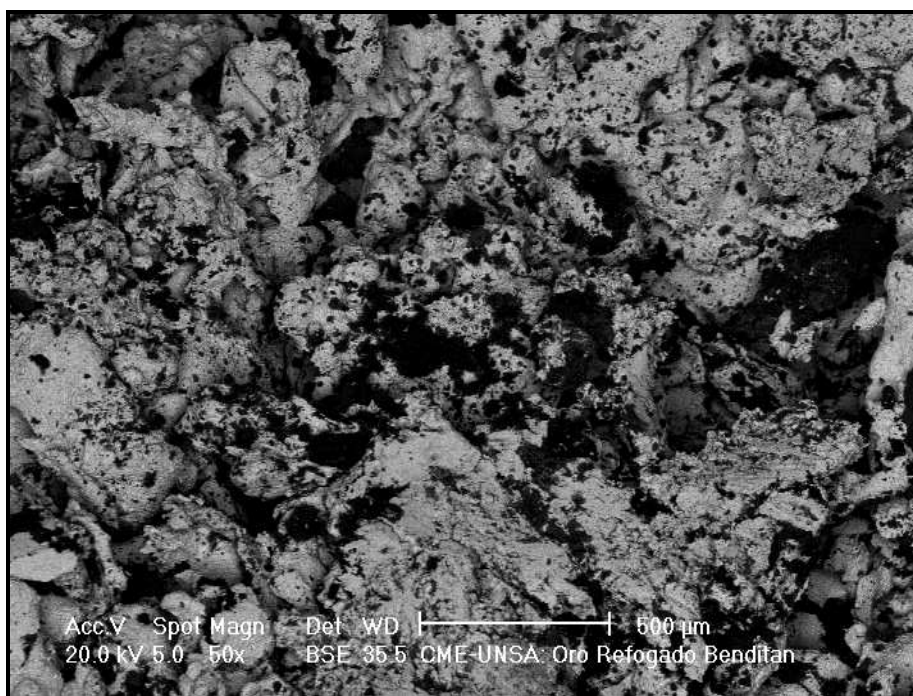


Foto N° 21. Zona de barrido B

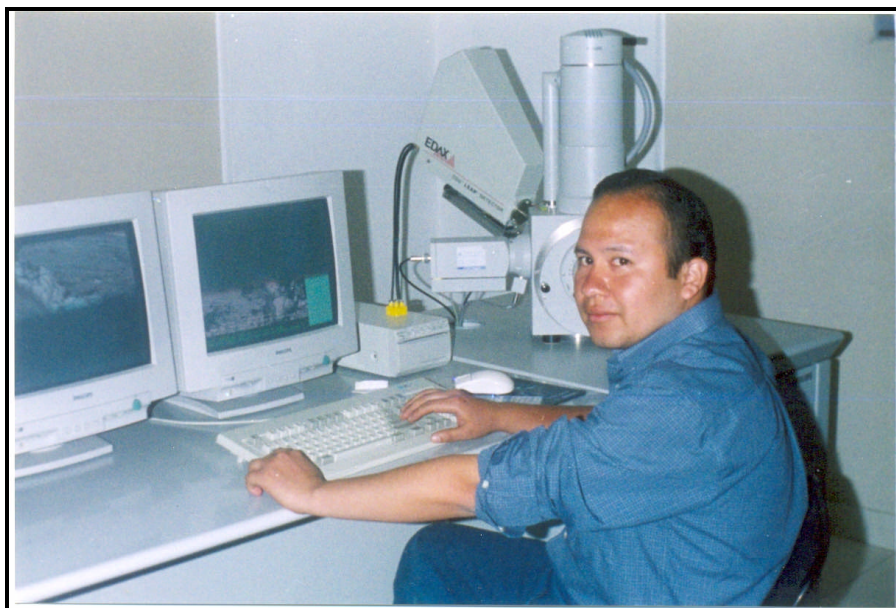


Foto N° 22. Haciendo el barrido en el oro de Benditani

3.6 Variables en la Refinación de Oro

En la evaluación algunas variables se consideran constantes, estas aparentemente pudieran tener poca influencia en la obtención de los resultados.

Dentro de las variables que usualmente se consideran están: la concentración del reactivo disolvente, la temperatura, el tiempo, costo final de refinación, pureza final alcanzada.

3.6.1 Variables Dependientes

Son aquellas variables que describen los resultados de un proceso, estas son:

3.6.1.1 Costo de Refinación

Esta es una variable que nos establecerá el precio por gramo refinado, es posible obtener un método económico, pero su uso futuro es el que determina que tan bueno o malo resulta, se podría dar el caso que hay usarlo en joyería de exportación, con una ley baja (por ejemplo: 99% de pureza final), pero a precio relativamente bajo respecto a los otros métodos, simplemente se desecha este por no poseer una buena ley final de oro refinado

3.6.1.2 Pureza Alcanzada

Variable esta que define la calidad del material refinado, dependiendo de la pureza que alcancemos en nuestra refinación, podemos orientar el uso final que se puede dar, dentro de la joyería nacional, es

posible trabajar con márgenes de ley, en tanto que para joyería de exportación estos márgenes deben de ser fijos, quiere decir que se debe trabajar con leyes estables.

Para la determinación de nuestros parámetros y variables operacionales, tomamos en cuenta la exigencia del mercado en cuanto al mineral refinado.

3.6.1.3 Eficiencia de Recuperación

La eficiencia de recuperación esta determinado por la relación del peso final de oro obtenido sobre el peso inicial de oro a refinar expresado en porcentaje, cabe mencionar que para esta eficiencia se considera el peso después de la primera fundición, puesto que en esta etapa hay una primera merma que es descontada al cliente.

3.6.2 Variables Independientes

Es una variable de proceso que puede tomar valores independientemente de las otras variables, en nuestra evaluación hemos considerado:

3.6.2.1. Concentración de los reactivos.

Para el ataque con ácido nítrico se utilizan concentraciones concentradas de este reactivo, desde un primer momento.

El ataque con agua regia también se realiza con una concentración concentrada.

En la precipitación con bisulfito de sodio esta se efectúa con una solución saturada.

3.6.2.2 Temperatura

La temperatura es una variable que determina el potencial químico y la actividad de un sólido en contacto con la fase líquida; la temperatura de trabajo fluctúa entre los 70 a 80°C.

3.6.2.3 Tiempo

El efecto de esta variable esta relacionado principalmente con la temperatura de disolución, uno de los factores que inciden en esta variable es el tamaño de la granalla.

CAPITULO IV

ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1 Balance de Materia

4.1.1 Consideraciones previas

Se parte de un material inicial de 1245 gr., la cantidad de oro para cada método es como sigue:

- Proceso con ácido Nítrico : 311 gr
- Proceso con agua regia: 311 gr.
- Proceso son agua regia previa incuartación: 311 gr
- Proceso Outokumpu modificado: 311 gr

El balance de masa se hará para cada método seleccionado.

4.1.2 Balance de materia en los procesos de refinación.

Sabiendo que todo lo que entra sale tenemos:

$$\text{INGRESA} = \text{SALE}$$

A continuación hacemos un balance de masa para cada método:

4.1.2.1 Proceso con Ácido Nítrico.

Con la Incuartacion se baja la ley del bullion de oro, aleación incuartada $\leq 30\%$

a. Recepción, pesado

Tenemos un material inicial con 311 gr. de oro

INGRESA		Resultados
Oro Refogado		311.00 gr.
Total ingresa		311.00 gr.
SALE		
Oro Refogado		311.00 gr.
Total sale		311.00 gr.

b. Fundición y muestreo.

Según la variedad de oro que existen, se considera una primera merma que puede variar desde un 0.4 a 2%, para el caso de Benditani se tiene una merma de 1.2%, representado en la mayoría de casos por silicatos y aluminatos. También consideramos una pérdida por muestra de 0.6 gr.

INGRESA		Operaciones	Resultados
Oro Refogado			311.00 gr.
Fundente I	7%	7%(311.00)	21.77 gr.
Total ingresa		311.00 + 21.77	332.77 gr.
SALE			
Merma	1.20%	(1.20%)(311.00)	3.73 gr.
Oro Fundido I		311.00 – 3.73	307.27 gr.
Escoria = Fundente I			21.77 gr.
Muestra (Minero Metalurgica Andina)	0.9482	Para Copelación Inicial	0.60 gr.
Total sale = Oro Fundido II		307.27 – 0.60	306.67 gr.

c. Preparación del material a refinar

En esta etapa realizamos una incuarta con cobre o plata, para este caso se ha optado por el cobre.

“Se Incuarta con Cobre”

Según datos de laboratorio nuestra ley inicial es de: 0.9482

Precisamos que los metales que acompañan al oro estén comprendidos entre las 250 milésimas y las 285 milésimas

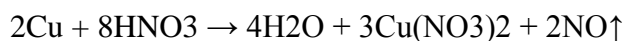
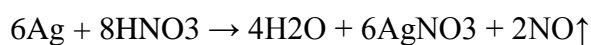
Entonces la cantidad de material que agregaremos será:

INGRESA		Operaciones	Resultados
Oro fundido II			306.67 gr.
Contenido de oro ley = Ley Inicial	0.9482	306.67 * 0.9482	290.78 gr.
Contenido de impurezas ley	0.0518	306.67 * 0.0518	15.89 gr.
Cobre requerido	872.34 gr.	290.78 * 3	
Cantidad neta requerida	856.46 gr.	872.34 – 15.89	
Total ingresa		306.67 + 856.46	1163.13 gr.
SALE			
Oro Incuartado			1163.13 gr.
Total sale = Oro Incuartado			1163.13 gr.

d. Lixiviación y disolución.

INGRESA		Operaciones	Resultados
Oro Incuartado			1163.13 gr.
Acido Nítrico 4 partes		1163.13 * 4	4652.52 gr.
Total ingresa		1163.13 + 4652.52	5815.65 gr.
SALE			
Cemento de oro I = Contenido de Oro Ley			290.78 gr.
Nitratos de Ag, Cu, elementos comunes			872.35 gr.
Merma por refinación	0.20%	290.78 * 0.20%	0.58 gr.
Total sale		290.78 – 0.58	290.20 gr.

Reacciones:



Plata y el Cobre forman respectivamente nitratos solubles.

e. Sedimentado, decantado

INGRESA		Resultados
Cemento de oro II		290.20 gr.
Total ingresa		290.20 gr.
SALE		
Cemento de oro II		290.20 gr.
Total sale		290.20 gr.

f. Filtración y lavado del cemento

INGRESA		Operaciones	Resultados
Cemento de oro II			290.20 gr.
Agua destilada	1.5 partes	290.20 * 1.5	435.30 gr.
Total Ingresas		290.20 + 435.30	725.50 gr.
SALE			
Cemento de oro II			290.20 gr.
Agua destilada			435.30 gr.
Total sale = Cemento de oro II			290.20 gr.

g. Secado

INGRESA		Resultados
Cemento de oro II		290.20 gr.
Total ingresa		290.20 gr.
SALE		
Cemento de oro II		290.20 gr.
Total sale		290.20 gr.

h. Fundición

INGRESA		Operaciones	Resultados
Cemento de oro II			290.20 gr.
Fundentes II	7%	7%(290.20)	20.31 gr.
Total ingresa		290.20 + 20.31	310.52 gr.
SALE			
Cemento de oro II			290.20 gr.
Escoria = Fundente II			20.31 gr.
Muestra de oro (Minero Metalurgica Andina)	0.9903	Ley Copelación Final	0.60 gr.
Total sale = Cemento de oro III			289.60 gr.

Eficiencia = (Cemento de oro III) / (Cemento de oro I) = 0.9959 = 99.59 %

4.1.2.2 Proceso con Agua Regia

En este caso procederemos a realizar la refinación del oro sin necesidad de incuarter, solo se realiza el granallado y efectuamos la precipitación del oro, uno de los inconvenientes que surgieron en este proceso fue el de la formación de cloruro de plata que retardo en gran medida este proceso.

Agua regia = $1\text{HNO}_3 + 3\text{HCl}$

Como sabemos : Acido Clorhídrico, químicamente puro.....3 o 4 partes

Acido Nítrico, químicamente puro..... 1 parte

El uso de agua regia esta estrictamente limitada al bullion de muy alto grado donde la plata no ascienda a mas de 5 – 8 % o donde el bullion contiene suficiente cobre para exponerlo al ataque a pesar de la plata presente

En el oro de Benditani hay:

Elemento	O	Na	Mg	Al	Si	Ag	Au
% Peso	3.52	0.20	0.15	0.34	1.54	1.28	92.97

a. Recepción, pesado

INGRESA		Resultados
Oro Refogado		311.00 gr.
Total ingresa		311.00 gr.
SALE		
Oro Refogado		311.00 gr.
Total sale		311.00 gr.

b. Fundición y muestreo.

INGRESA		Operaciones	Resultados
Oro Refogado			311.00 gr.
Fundente I	7%	7%(311.00)	21.77 gr.
Total ingresa		311.00 + 21.77	332.77 gr.
SALE			
Merma 1.2%	1.20%	1.20% * 311.00	3.73 gr.
Oro Fundido I		311.00 – 3.73	307.27 gr.
Escoria = Fundente I			21.77 gr.
Muestra Minero Metalurgico Andina	0.9482	Copelación Inicial	0.60 gr.
Total sale = Oro Fundido II			306.67 gr.

c. Preparación del material a refinar

INGRESA		Resultados
Oro fundido II		306.67 gr.
Total ingresa		306.67 gr.
SALE		
Oro granallado = Oro Fundido II		306.67 gr.
Total sale = Oro Fundido II		306.67 gr.

“Se granalla solo oro fundido II”

d. Lixiviación y disolución

INGRESA		Operaciones	Resultados
Oro granallado = Oro Fundido II			306.67 gr.
Agua regia 3.5 partes		$306.67 * 3.5$	1073.34 gr.
Total ingresa		$306.67 + 1073.34$	1380.01 gr.
SALE			
Cloruro de plata (sedimentado)		(Secado y Pesado)	15.89 gr.
Cloruro de oro (solución)			1364.12 gr.
Total sale			1380.01 gr.

Después de la Rx Química se ha completado los licores son dejados sedimentados durante varias horas y la solución sobrenadante es sifoneada quedando como sedimento el cloruro de plata

e. Precipitación del oro

INGRESA		Operaciones	Resultados
Cloruro de oro (solucion)			1364.12 gr.
Bisulfito de sodio 2 partes		$2 * 306.67$	613.34 gr.
Total ingresa		$1364.12 + 613.34$	1977.46 gr.
SALE			
Cemento de oro I			290.78 gr.
Solución gastada		$1977.46 - 290.78$	1686.67 gr.
Merma por refinación	0.25%	$0.25% * 290.78$	0.73 gr.
Total sale = Cemento de oro II		$290.78 - 0.73$	290.06 gr.

f. Sedimentado, decantado

INGRESA		Resultados
Cemento de oro II		290.06 gr.
Total ingresa		290.06 gr.
SALE		
Cemento de oro II		290.06 gr.
Total sale = Cemento de oro II		290.06 gr.

g. Filtración y lavado del cemento

INGRESA		Operaciones	Resultados
Cemento de oro II			290.06 gr.
Agua destilada	1.5 partes	$290.06 * 1.5$	435.08 gr.
Acido Nítrico	0.5 partes	$290.06 * 0.5$	145.03 gr.

Urea	0.2 partes	$290.06 * 0.2$	58.01 gr.
Total Ingresa		$290.06 + 435.08 + 145.03$	870.17 gr.
SALE			
Cemento de oro II			290.06 gr.
Agua destilada	1.5 partes	$290.06 * 1.5$	435.08 gr.
Urea	0.2 partes	$290.06 * 0.2$	58.01 gr.
Total sale =Cemento de oro II			290.06 gr.

i. Secado

INGRESA		Resultados
Cemento de oro II		290.06 gr.
Total ingresa		290.06 gr.
SALE		
Cemento de oro II		290.06 gr.
Total sale = Cemento de Oro II		290.06 gr.

i. Fundición

INGRESA		Operaciones	Resultados
Cemento de oro II			290.06 gr.
Fundentes II	7%		20.30 gr.
Total ingresa		$290.06 + 20.30$	310.36 gr.
SALE			
Cemento de oro II			290.06 gr.
Escoria = Fundentes II			20.30 gr.
Muestra de oro Minero Metalurgico Andina	0.9993	ley Final de Copelacion	0.60 gr.
Total sale = Cemento de oro III			289.46 gr.

Eficiencia = (Cemento de oro III) / (Cemento de oro I) = $289.46 / 290.78 = 0.9954 = 99.54 \%$

4.1.2.3 Proceso con agua regia previa incuarcación

a. Recepción, pesado

INGRESA		Resultados
Oro Refogado		311.00 gr.
Total ingresa		311.00 gr.
SALE		
Oro Refogado		311.00 gr.
Total sale		311.00 gr.

b. Fundición y Muestreo

INGRESA		Operaciones	Resultados
Oro Erogado			311.00 gr.
Fundente I	7%	$7\% * 311.00$	21.77 gr.
Total ingresa			332.77 gr.
SALE			
Merma 1.2%	1.20%		3.73 gr.
Oro Fundido I			307.27 gr.
Escoria = Fundente I			21.77 gr.
Muestra Minero Metalurgica Andina	0.9482	Para Copelación inicial	0.60 gr.
Total sale = Oro Fundido II			306.67 gr.

c. Preparación del material a refinar

INGRESA		Operaciones	Resultados
Oro fundido II			306.67 gr.
Contenido de oro ley = Cemento de oro I	0.9482	$306.67 * 0.9482$	290.78 gr.
Contenido de impurezas ley	0.0518	$306.67 * 0.0518$	15.89 gr.
Cobre requerido	872.34779		
Cantidad neta requerida	856.46	$872.347 - 15.89$	
Total ingresa		$306.67 + 856.46$	1163.13 gr.
SALE			
Oro Encuartado			1163.13 gr.
Total sale = Oro Incuartado			1163.13 gr.

“Se Incuarta con Cobre”

d. Lixiviación y disolución

INGRESA		Operaciones	Resultados
Oro incuartado		$306.67 + 856.46$	1163.13 gr.
Acido Regia 3.5 partes			4070.96 gr.
Total ingresa		$1163.13 + 4070.96$	5234.09 gr.
SALE			
Cloruro de plata (sedimentado)		(secado y pesado)	15.89 gr.
Cloruro de oro y nitratos de elementos comunes		$5234.09 - 15.89$	5218.20 gr.
Total sale = Cloruro de oro y nitratos de elementos comunes			5218.20 gr.

e. Precipitación de oro

INGRESA		Operaciones	Resultados
Cloruro de oro y nitratos de elementos comunes			5218.20 gr.
Bisulfito de sodio 2 partes		2 * 290.78	581.57 gr.
Total ingresa		5218.20 + 581.57	5799.77 gr.
SALE			
Cemento de oro I			290.78 gr.
Solución gastada		5799.77 – 290.78	5508.98 gr.
Merma por refinación		0.30% * 290.78	0.87 gr.
Total sale = Cemento de oro II		290.78 - 0.87	289.91 gr.

f. Sedimentado, decantado

INGRESA		Resultados
Cemento de oro II		289.91 gr.
Total ingresa		289.91 gr.
SALE		
Cemento de oro II		289.91 gr.
Total sale = Cemento de oro II		289.91 gr.

g. Filtración y lavado del cemento

INGRESA		Operaciones	Resultados
Cemento de oro II			289.91 gr.
Agua destilada		1.5 * 289.91	434.87 gr.
Acido Nítrico		0.5 * 289.91	144.96 gr.
Urea		0.2 * 289.91	57.98 gr.
Total Ingresa			869.73 gr.
SALE			
Cemento de oro II			289.91 gr.
Agua destilada		1.5 * 289.91	434.87 gr.
Urea		0.2 * 289.91	57.98 gr.
Total sale = Cemento de oro II			289.91 gr.

h. Secado

INGRESA		Resultados
Cemento de oro II		289.91 gr.
Total ingresa		289.91 gr.
SALE		

Cemento de oro II		289.91 gr.
Total sale = Cemento de oro II		289.91 gr.

h. Fundición

INGRESA		Operaciones	Resultados
Cemento de oro II			289.91 gr.
Fundentes II	7%		20.29 gr.
Total ingresa			310.20 gr.
SALE			
Cemento de oro			289.91 gr.
Escoria = Fundentes II			20.29 gr.
Muestra de oro 0.6 Minero Metalurgica Andina	0.9983	Ley Copelación Final	0.60 gr.
Total sale = Cemento de oro III			289.31 gr.

Eficiencia = (Cemento de oro III) / (Cemento de oro I) = 289.31 / 290.78 = 0.994 = 99.494 %

4.1.2.4 Proceso Outokumpu (modificado)

a. Recepción, pesado

INGRESA		Resultados
Oro Refogado		311.00 gr.
Total ingresa		311.00 gr.
SALE		
Oro Refogado		311.00 gr.
Total sale		311.00 gr.

b. Fundición y muestreo.

INGRESA		Operaciones	Resultados
Oro Refogado			311.00 gr.
Fundente I	7%	7% * 311.00	21.77 gr.
Total ingresa		311.00 + 21.77	332.77 gr.
SALE			
Merma 1.2%	1.20%	1.20% * 311.00	3.73 gr.
Oro Fundido I		311.00 – 3.73	307.27 gr.
Escoria = Fundente I			21.77 gr.
Muestra Minero Metalurgica Andina	0.9482	Ley de Copelación inicial	0.60 gr.
Total sale = Oro Fundido II			306.67 gr.

c. Preparación del material a refinar

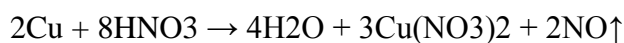
INGRESA		Operaciones	Resultados
Oro Fundido II			306.67 gr.
Contenido de oro ley	0.9482	$306.67 * 0.9482$	290.78 gr.
Contenido de impurezas ley	0.0518	$306.67 * 0.0518$	15.89 gr.
Cobre requerido	872.34 gr.		
Cantidad neta requerida	856.46 gr.	$872.34 - 15.89$	
SALE			
Oro Incuartado		$856.46 + 306.67$	1163.13 gr.

“Se granalla con Cobre”

d. Lixiviación y disolución Acido Nítrico

INGRESA		Operaciones	Resultados
Oro incuartado			1163.13 gr.
Acido Nítrico 4 partes		$1163.13 * 4$	4652.52 gr.
Total ingresa		$1163.13 + 4652.52$	5815.65 gr.
SALE			
Cemento de oro I			290.78 gr.
Nitratos de elementos comunes		$1163.13 - 290.78$	872.35 gr.
Merma por refinación	0.20%	$0.20% * 290.78$	0.58 gr.
Total sale = Cemento de oro II			290.20 gr.

Reacciones:



Plata y el Cobre forman respectivamente nitratos solubles.

e. Lixiviación y disolución Agua regia

INGRESA		Operaciones	Resultados
Cemento de oro II			290.20 gr.
Agua regia 1.5 partes		$290.20 * 1.5$	435.30 gr.
Total ingresa		$290.20 + 435.30$	725.50 gr.
SALE			
Cloruro de oro (Solución)			725.50 gr.
Total sale = Cloruro de oro		$290.20 + 435.30$	725.50 gr.

f. Precipitación de oro

INGRESA		Operaciones	Resultados
			725.50 gr.
			Cloruro de oro
		290.20 * 2	580.40 gr.
			Bisulfito de sodio 2 partes
		725.50 + 580.40	1305.90 gr.
			Total ingresa
SALE			
			290.20 gr.
			Cemento de oro II
		1305.90 – 290.20	1015.70 gr.
			Solución gastada
	0.15%	0.15% * 290.20	0.44 gr.
			Merma por refinación
		290.20 – 0.44	289.77 gr.
			Total sale = Cemento de oro III

g. Sedimentado, decantado

INGRESA		Resultados
		289.77 gr.
		Cemento de oro III
		289.77 gr.
		Total ingresa
SALE		
		289.77 gr.
		Cemento de oro III
		289.77 gr.
		Total sale = Cemento de oro III

h. Filtración y lavado del cemento

INGRESA		Operaciones	Resultados
			289.77 gr.
			Cemento de oro III
	1.5	1.5 * 289.77	434.65 gr.
			Agua destilada
	0.5	0.5 * 289.77	144.88 gr.
			Acido Nítrico
	0.2	0.2 * 289.77	57.95 gr.
			Urea
		289.77 + 434.65 + 144.88	869.30 gr.
			Total Ingresa
SALE			
			289.77 gr.
			Cemento de oro III
			434.65 gr.
			Agua destilada
			57.95 gr.
			Urea
			289.77 gr.
			Total sale = Cemento de oro III

Urea para neutralizar el exceso de Ácido Nítrico

i. Secado

INGRESA		Resultados
		289.77 gr.
		Cemento de oro III
		289.77 gr.
		Total ingresa
SALE		

Cemento de oro III		289.77 gr.
Total sale = Cemento de oro III		289.77 gr.

j.- Fundición

INGRESA		Operaciones	Resultados
Cemento de oro III			289.77 gr.
Fundentes II	7%		20.28 gr.
Total ingresa			310.05 gr.
SALE			
Cemento de oro			289.77 gr.
Escoria = Fundentes II			20.28 gr.
Muestra de oro Minero Metalurgica Andina	0.9993.	Ley Final de copelacion	0.60 gr.
Total sale = Cemento de oro IV			289.17 gr.

Eficiencia = (Cemento de Oro IV) / (Cemento de Oro I) = 289.17 / 290.78 = 0.9944 = 99.44 %

4.2. Expresión de Resultados

Uno de los objetivos de esta evaluación es el de las purzas alcanzadas, posteriormente de acuerdo al balance de materia, se encontraran los costos de refinación que es otro de los objetivos.

4.2.1. Pureza del Mineral Refinado

Tabla N° 18. Pureza del Mineral Refinado

Método	Peso Inicial	Ley inicial	Oro fundido	Oro Neto	Oro Refinado	Ley Obtenida	Eficiencia
Ácido Nítrico	311.00	0.9482	306.67	290.78	289.60	0.9903	99.59%
Agua Regia	311.00	0.9482	306.67	290.78	289.46	0.9993	99.54%
Agua Regia con Incuarte	311.00	0.9482	306.67	290.78	289.31	0.9983	99.49%
Outokumpu	311.00	0.9482	306.67	290.78	289.17	0.9993	99.44%

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2 Costo de Refinación

Estos costos están definidos por los costos operativos de cada método.

4.2.2.1 Costo de Refinación Proceso Acido Nítrico

Tabla N° 19. Costo de insumos Proceso Ácido Nítrico

Insumo	Cant. Requerida gr.	Costo x kilo S./	Costo reactivos S./
Fundente	42.08	3.5	0.15
Cobre requerido	856.46	0.5	0.43
Acido Nítrico	4652.52	1.5	6.98
Agua destilada	435.30	0.3	0.13
Papel filtro	1	0.3	0.30
TOTAL			S./ 7.98

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 20. Costos de Energía Proceso Ácido Nítrico

Equipo	Veces usadas	Potencia kw	Tiempo Min.	Horas	Costo kw	Costo Total
Horno eléctrico	2	5	60.00	1.00	0.4	4.00
Plancha de Ataque	1	1	120.00	2.00	0.4	0.80
Mufla	1	1.5	180.00	3.00	0.4	1.80
Extractor plancha de ataque	1	0.74573	120.00	2.00	0.4	0.60
Extractor horno eléctrico	1	0.74573	60.00	1.00	0.4	0.30
TOTAL						S./ 7.49

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 21. Costo de personal Proceso Ácido Nítrico

Cargo	Cantidad	Jornal diario S./	Total
Jefe refinería	1	45	45.00
Operario	1	25	25.00
TOTAL			S./ 70

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 22. Costo total Proceso Acido Nítrico

COSTOS	Precio S./
Costo insumos	7.98
Costo energía	7.49
Costo mano de obra	70.00
TOTAL	S./ 85.48

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 23. Costo de Mineral Refinado Proceso Acido Nítrico

Costos S./	Cantidad a Refinar gr.	Costo por gramo S./
85.48	311.00	0.27

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2.2 Costo de refinación Proceso con Agua Regia

Tabla N° 24. Costo de insumos Proceso con Agua Regia

Insumo	Cant. Requerida gr.	Costo x kilo S./	Costo reactivos S./
Fundente	42.07	3.5	0.15
Agua Regia	1073.34	7.5	8.05
Acido Nítrico	145.03	1.5	0.22
Bisulfito de sodio	613.34	2	1.23
Agua destilada	435.08	0.3	0.13
Papel filtro	1	0.3	0.30
Urea	58.01	0.8	0.05
TOTAL			S./ 10.12

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 25. Costos de Energía Proceso con Agua Regia

Equipo	Veces usadas	Potencia kw	Tiempo Min.	Horas	Costo kw	Costo Total
Horno eléctrico	2	5	60.00	1.00	0.4	4.00
Plancha de Ataque	1	1	120.00	2.00	0.4	0.80
Mufla	1	1.5	180.00	3.00	0.4	1.80
Extractor plancha de ataque	1	0.74573	120.00	2.00	0.4	0.60
Extractor horno eléctrico	1	0.74573	60.00	1.00	0.4	0.30
TOTAL						S./ 7.49

Tabla N° 26. Costo de personal Proceso con Agua Regia

Cargo	Cantidad	Jornal diario S./	Total
Jefe refinería	1	45	45.00
Operario	1	25	25.00
TOTAL			S./ 70

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 27. Costo total Proceso con Agua Regia

COSTOS	Precio S./
Costo insumos	10.12
Costo energía	7.49
Costo mano de obra	70.00
TOTAL	S./ 87.61

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 28. Costo de Mineral Refinado Proceso con Agua Regia

Costos S./	Cantidad a Refinar gr.	Costo por gramo S./
87.61	311.00	0.28

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2.3 Costo de Refinación Proceso con Agua Regia con Incuarte

Tabla N° 29. Costo de insumos Proceso con Agua Regia con Incuarte

Insumo	Cant. Requerida gr.	Costo x kilo S./	Costo reactivos S./
Fundente	42.09	3.5	0.15
Agua Regia	4070.96	7.5	30.53
Acido Nítrico	144.96	1.5	0.22
Bisulfito de sodio	581.57	2	1.16
Agua destilada	434.87	0.3	0.13
Papel filtro	1	0.3	0.30
Urea	57.98	0.8	0.05
TOTAL			S./ 32.54

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 30. Costos de Energía Proceso con Agua Regia con Incuarte

Equipo	Veces usadas	Potencia kw	Tiempo Min.	Horas	Costo kw S./	Costo Total S./
Horno eléctrico	2	5	60.00	1.00	0.4	4.00
Plancha de Ataque	1	1	120.00	2.00	0.4	0.80
Mufla	1	1.5	180.00	3.00	0.4	1.80
Extractor plancha de ataque	1	0.74573	120.00	2.00	0.4	0.60
Extractor horno eléctrico	1	0.74573	60.00	1.00	0.4	0.30
TOTAL						S./ 7.49

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 31. Costo de personal Proceso con Agua Regia con Incuarte

Cargo	Cantidad	Jornal diario S./	Total
Jefe refinería	1	45	45.00
Operario	1	25	25.00
TOTAL			S./ 70

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 32. Costo total Proceso con Agua Regia con Incuarte

COSTOS	Precio S./
Costo insumos	32.54
Costo energía	7.49
Costo mano de obra	70.00
TOTAL	S./ 110.03

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 33. Costo de Mineral Refinado Proceso con Agua Regia con Incuarte

Costos S./	Cantidad a Refinar gr.	Costo por gramo S./
110.03	311.00	0.35

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2.4 Costo de refinación Proceso Outokumpu Modificado

Tabla N° 34. Costo de insumos Proceso Outokumpu modificado

Insumo	Cant. Requerida gr.	Costo x kilo S./	Costo reactivos S./
Fundente	42.05	3.5	0.15
Cobre requerido	872.35	0.5	0.44
Agua Regia	435.30	7.5	3.26
Acido Nítrico	4652.52	1.5	6.98
Bisulfito de sodio	580.40	2	1.16
Agua destilada	434.65	0.3	0.13
Papel filtro	1	0.3	0.30
Urea	57.95	0.8	0.05
TOTAL			S./ 12.46

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 35. Costos de Energía Proceso Outokumpu modificado

Equipo	Veces usadas	Potencia kw	Tiempo Min.	Horas	Costo kw S./	Costo Total S./
Horno eléctrico	2	5	60.00	1.00	0.4	4.00
Plancha de Ataque	1	1	140.00	2.33	0.4	0.93
Mufla	1	1.5	180.00	3.00	0.4	1.80
Extractor plancha de ataque	1	0.74573	140.00	2.33	0.4	0.70
Extractor horno eléctrico	1	0.74573	60.00	1.00	0.4	0.30
TOTAL						S./ 7.73

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 36. Costo de personal Proceso Outokumpu modificado

Cargo	Cantidad	Jornal diario S./	Total
Jefe refinería	1	45	45.00
Operario	1	25	25.00
TOTAL			S./ 70

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 37. Costo total Proceso Outokumpu modificado

COSTOS	Precio S./
Costo insumos	12.46
Costo energía	7.73
Costo mano de obra	70.00
TOTAL	S./ 90.19

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 38 Costo de Mineral Refinado Proceso Outokumpu modificado

Costos S./	Cantidad a Refinar gr.	Costo por gramo S./
90.19	311.00	0.29

Fuente: Elaboración propia.

4.3 Resumen de Resultados obtenidos

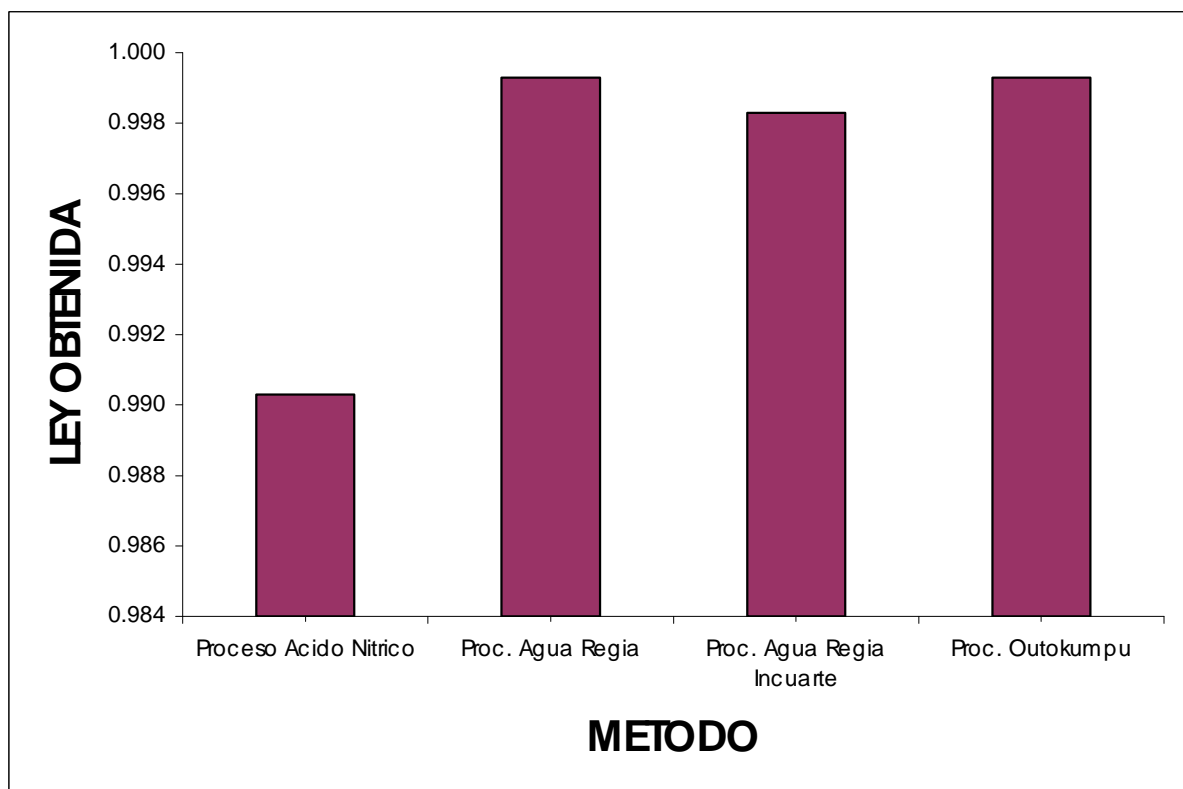
4.3.1 Purezas Alcanzadas

Tabla N° 39. Resumen de Purezas Alcanzadas en las Refinaciones

Método	Ley Obtenida
Acido Nítrico	0.9903
Agua regia	0.9993
Agua regia con Incuarte	0.9983
Outokumpu	0.9993

Fuente: Elaboración propia.

Grafico N° 5. Leyes Obtenidas según método



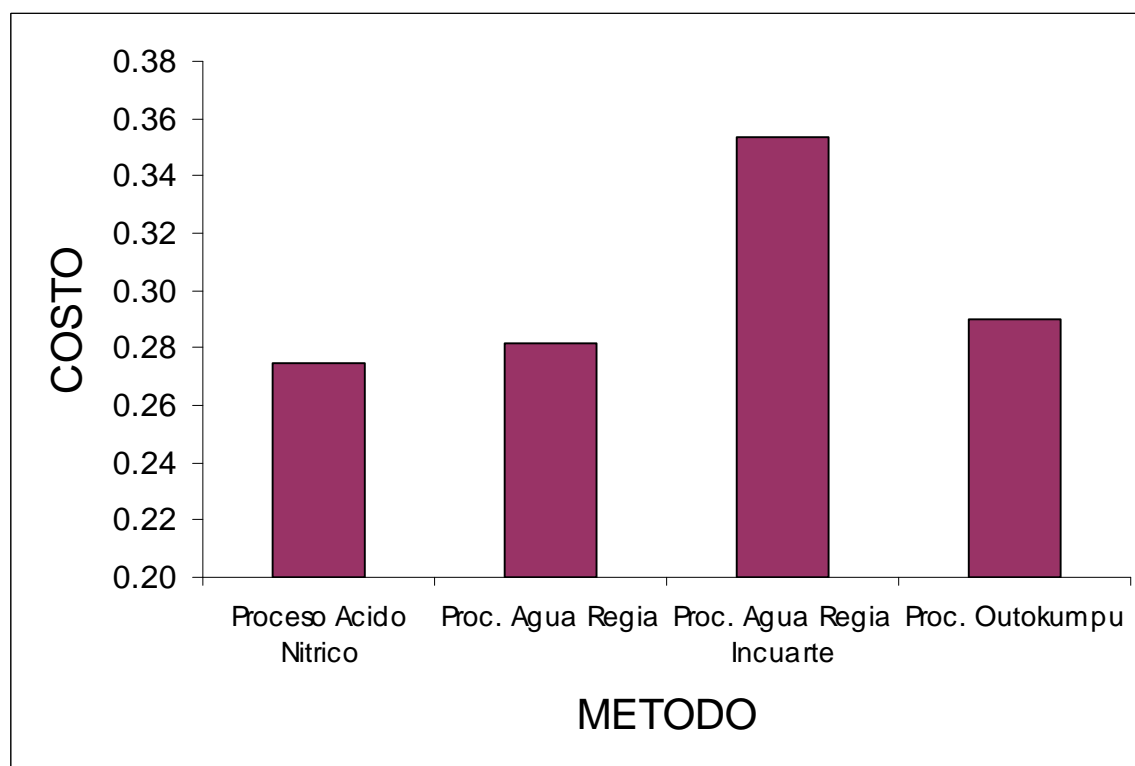
4.3.2 Resumen de Costos por Gramos

Tabla N° 40. Resumen de Costo por Gramo

Método	Costo por gramo S./
Ácido Nítrico	0.27
Agua Regia	0.28
Agua Regia con Incuarte	0.35
Outokumpu	0.29

Fuente: Elaboración propia.

Grafico N° 6. Costos de Refinación según Método



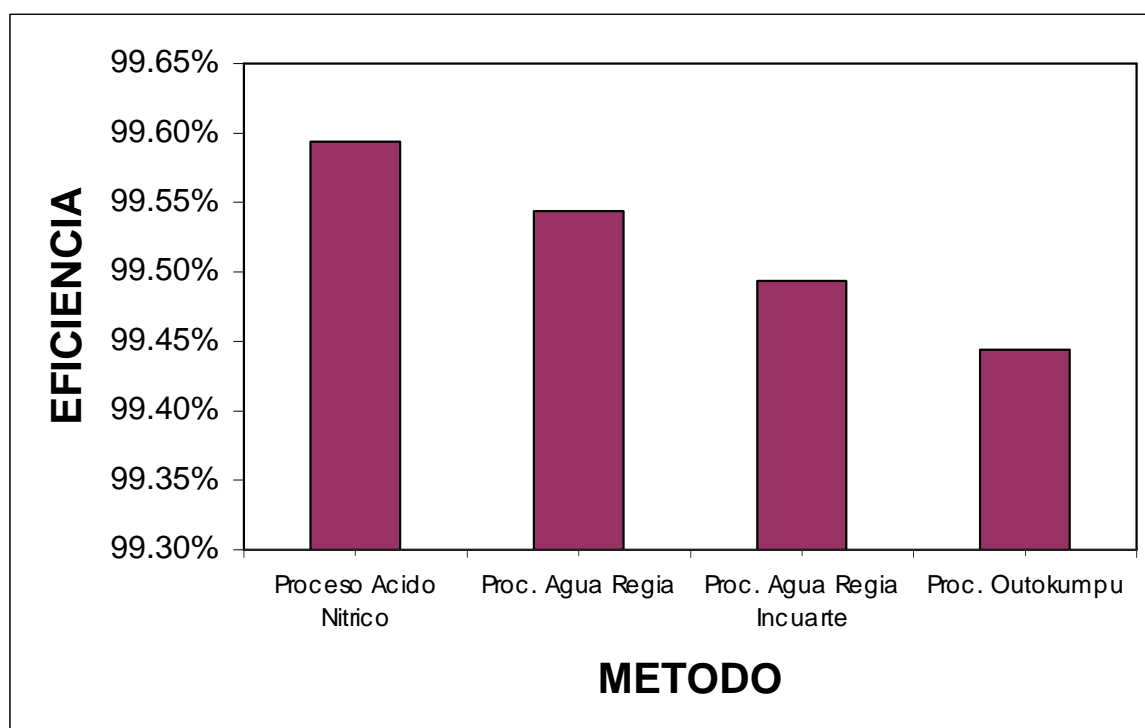
4.3.3 Eficiencias alcanzadas

Tabla N° 41. Resumen de Eficiencias Alcanzadas

Método	Eficiencia
Ácido Nítrico	99.59%
Agua Regia	99.54%
Agua Regia con Incuarte	99.49%
Outokumpu	99.44%

Fuente: Elaboración propia.

Grafico N° 7. Eficiencia de Refinación según Método



4.4 Evaluación de Variables

4.4.1 Costos de Refinación

Se han evaluado los 4 métodos clásicos de refinación, se ha podido establecer costos de refinación para cada método, además de haber obtenido leyes finales buenas.

Para el caso de los costos, hemos podido verificar que el proceso mas económico es el del Acido Nítrico, su escaso consumo de otros reactivos frente a los demás lo hacen más rentable.

En el caso del Proceso con Agua Regia hay un ligero aumento en el costo debido esencialmente al consumo de otros reactivos

Para el caso del Proceso con Agua regia con Incuartación, el costo de refinación es considerablemente alto, esto debido al mayor consumo de agua regia para atacar el cobre de la incuartación.

Para el caso del Proceso Outokumpu modificado, el costo es ligeramente superior al del proceso con Acido Nítrico y Agua Regia, pero considerablemente inferior al del Agua Regia con Incuartación, el hecho radica en el menor consumo de agua regia, puesto que la primera lixiviación se realiza con ácido nítrico, que es mucho mas económico que el agua regia.

4.4.2 Leyes Finales

En general las leyes obtenidas nos permiten deducir que los métodos de refinación han cumplido su cometido, pero el factor que permite determinar el más óptimo es sin lugar a dudas la ley final de oro, es decir aquel que tenga mayor pureza final.

Para el caso del Proceso con Acido Nítrico la ley final, no nos permitirá poder considerar una posible exportación de oro refinado, lo mismo que no nos permitiría trabajar con aleaciones para joyería de exportación.

Para el caso del proceso con agua regia la ley final es muy buena, pero la única limitante que presenta este método es que solo se puede trabajar con leyes altas.

Para el caso del Proceso de Agua Regia con Incuartación, la presencia de cobre en el ataque con agua regia perjudica económicamente este proceso, por ser costoso este reactivo, la ley final ha sido afectada considerablemente también por la presencia de cobre, de consulta con algunos especialistas en refinación de oro; se ha concluido que este cobre solo se puede eliminar con electrodeposición conllevando ello a un sobre costo de este proceso.

El Proceso Outokumpu Modificado tiene una ley por demás buena, comparada con el Proceso con Agua Regia, pero la ventaja de este método radica en que se puede tratar todo tipo de mineral.

4.4.3 Eficiencia de Recuperación

Definido como el grado de recuperación de oro en un proceso, este grado de eficiencia de recuperación disminuye de acuerdo a la complejidad del proceso, mientras mas etapas tenga el método ocurrirán mayores mermas dentro del proceso, para el calculo de las eficiencias se ha considerado el peso de oro fundido, puesto que el oro recién se considera dentro del proceso cuando la primera merma por fundición ya se ha dado y va por cuenta del cliente, este factor es influyente en relación a la tolerancia que podemos tener en una refinería es decir, existe normalmente una tolerancia por mermas en una refinería que es determinado de acuerdo a la experiencia de trabajo.

4.5 Posibilidades de Refinación según la variedad de Mineral de la Región Puno.

Tabla N° 42. Variedades de oro en la Región Puno y Posibilidades de Refinación

VARIEDAD	PROCEDENCIA	LEY %	MERMA %	PROCESO SUGERIDO
Huaypetue	Madre de Dios	98.8 – 99.0	0.3	Agua Regia
Peñón de Oro	Sandia	98.5	0.8	Agua Regia
Arizona	Sandia	98	0.6	Agua Regia
Laminado	Sandia	96	1.5	Agua Regia, Outokumpu
Benditani	Carabaya	94.5	1.2	Agua Regia previa Incuartación, Outokumpu
Coasa	Carabaya	95.5	1.4	Agua Regia, Outokumpu
Colorado	Carabaya	95	0.7	Outokumpu
Pinaya	Lampa	79.8	3.0	Outokumpu
Rinconada verde	San Antonio de Putina	92	1.0	Agua regia previa Incuartación, Outokumpu
Rinconada Amarillo	San Antonio de Putina	94	0.9	Agua regia previa Incuartación, Outokumpu
Untuca	Sandia	98	0.6	Agua Regia

Fuente: Elaboración propia

4.6 Convalidación de la Hipótesis

Hemos podido cuantificar el costo de refinación para cada método, además de obtener leyes finales de refinación muy buenas, de las evaluaciones finales hemos encontrado un método de refinación con mayor adaptabilidad para diferentes leyes de mineral, es un método aún desconocido por pequeños mineros y algunos joyeros.

Las bondades técnicas del Proceso Outokumpu modificado, nos permiten buenas leyes finales, la bondad económica es que no es un método costoso respecto a los métodos de Acido Nítrico y Agua regia, pero si es económico respecto al del Agua Regia con Incuartación.

El aprovechamiento que se podría dar a este método, sería en primer lugar para cuando se presente el inconveniente del oro negro, se puede dar una solución rápida para este caso además para algunos joyeros, que podrían requerir de buenas leyes de mineral refinado, si es que hay posibilidades de exportación en joyería.

4.7 Especificaciones de los equipos

4.7.1 Horno Eléctrico

4.7.1.1 Características

- Aislamiento reforzado, resistente a la abrasión, diseñado para soportar cargas pesadas.
- Carcasa de acero pesado soporta los más exigentes requerimientos.
- La puerta es llenada con cemento refractario para prolongar su vida de servicio.
- Por seguridad, la puerta debe ser levantada ascendentemente; de tal manera que el lado caliente este lejos del operador.
- Los elementos de calentamiento envueltos en cemento refractario especial, ofrece larga vida de servicio, protección frente a materiales dañinos y golpes mecánicos.
- Los elementos de calentamiento son ubicados sobre los 4 lados de la cámara para máxima transferencia de calor y uniformidad de temperatura de la cámara.
- Control automático individual permite simultáneo monitoreo del punto seleccionado y de la temperatura actual.

- No requiere ningún adicional.

Ventajas con respecto al horno a gas:

1. atmósfera interna inerte (limpia).
2. no contaminante.
3. No contamina sonoramente (es totalmente silencioso)
4. Funciona con solo el accionamiento de la llave de encendido.
5. No acarrea ningún peligro de explosión.
6. Funciona correctamente en época inverna
7. La temperatura es totalmente homogénea.

4.7.1.2 Especificación Técnica Básica

Marca: ORL

Capacidad: 10 kg.

Control de temperatura electrónico digital automático.

Corriente: 220 V, 50 hz

Consumo: 5 Kw

Amperaje: 22 A

Rango de temperatura 150 hasta 1260°C

4.7.2 Mufla de secado

4.7.2.1 Características

- Monitoreo del aire fresco con alarma acústica e interrupción automática del calentamiento.
- Turbina de aire de alta capacidad.
- Fácil cambio del cartucho de aire fresco.
- Dispositivo de seguridad de temperatura Cl. 2.
- Interfase de comunicación e impresora RS232 para el software APT-COM
- Posibilidad de calibración y validación.

4.7.2.2 Especificación Técnica Básica

Marca: ORL

Capacidad: 10 kg..

Rango de Temperatura: 5°C sobre la Temperatura ambiente a 400°C

Timer: 0 a 99 horas 59 minutos

Uniformidad: + 1,5 a (70°C); + 2,5 a (150°C)

Fuente de Energía: 230V +10%; 50/60Hz.

Incluye: 02 bandejas

Potencia: 1.5 Kw.

4.7.3 Plancha de Ataque

4.7.3.1 Características

- Plato de cerámica sólido de fácil limpieza, resistente a ácidos y álcalis.

- Permanece plano a altas temperaturas asegurando máxima transferencia de calor.
- Sostenedor de varilla integrado acomoda varillas de 1.3 cm de diámetro.
- Cuerpo robusto de aluminio fundido provee estabilidad y durabilidad.
- Excelente para rápida ebullición de soluciones acuosas. La unidad alcanza la temperatura máxima de 538° en 8 minutos.
- Selección de temperatura continuo

4.7.3.2 Especificación Técnica Básica

Marca: Prince 2000

Voltaje: 220VAC, Monofásico

Corriente: 4.6A

Consumo: 1kw

Frecuencia: 60Hz

Temperatura: 150-538°C

4.7.4 Balanza

4.7.4.1 Características

- Pesa en gramos y onza troy
- Calibración automática
- Conteo de piezas
- Medición de peso en porcentaje.
- Platillo de acero inoxidable

- Protección contra exceso de carga
- Modo“sleep” para la conservación de la batería

4.7.4.2 Especificación Técnica Básica

Marca: Ohaus

Rango desde 0.1g a 3000 g.

Precisión: 0.1g.

Grado de error: +/- 0.1g.

CAPITULO V

COSTO DE LAS EVALUACIONES

5.- Generalidades.-

El proceso productivo y tecnología que se seleccionen influirán directamente sobre la cuantía de las inversiones, costos e ingresos del proyecto, es muy importante la precisión y la calidad de la información que se obtenga, porque de ella dependerá el monto de inversión a efectuarse.

Se deberá indicar para cada equipo lo siguiente:

- ✓ Identificación
- ✓ Cantidad requerida
- ✓ Vida útil
- ✓ Características: capacidad, tamaño, principales características de operación.
- ✓ Posibles proveedores

5.1. Costos directos de la Evaluación

5.1.1 Implementación de Equipo

Tabla N° 43. Implementación de Equipos

DESCRIPCION	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Horno eléctrico	1	1400	\$1,400
Plancha de Ataque	1	600	\$600
Balanza Analítica	1	1300	\$1,300
Neutralizador de gases	1	1150	\$1,150
TOTAL			\$4,450

Fuente: Elaboración propia

5.1.2 Materiales y Reactivos

Tabla N° 44. Materiales y Reactivos

DESCRIPCION	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Termómetros	1	\$150.00	\$150.00
Material de vidrio	4	\$7.00	\$28.00
Phmetro	1	\$185.00	\$185.00
Oro gr.	1244.00	\$12.00	\$14,928.00
Bisulfito de sodio Kg.	1.78	\$0.57	\$1.01
Acido Nitrico Kg.	9.60	\$0.43	\$4.11
Acido Regia Kg.	5.58	\$2.14	\$11.96
Borax Kg.	0.17	\$1.00	\$0.17
Agua destilada Kg.	1.74	\$0.09	\$0.15
Otros Reactivos			\$4.00
TOTAL			\$15,342.40

Fuente: Elaboración Propia

Nota: El precio del oro fluctúa en razón a la cotización diaria del metal, nuestra fuente para el precio es: www.kitco.com

5.2 Costos indirectos de la Evaluación

Tabla N° 45. Costos Indirectos

DESCRIPCION	COSTO
Útiles de escritorio y fotocopias	\$30
Internet	\$25
Tipeo e impresión	\$30
Movilidad	\$50
Imprevistos y otros	\$150
TOTAL	\$285

Fuente: Elaboración propia

5.3 Costo Total de la Evaluación.

Tabla N° 46. Costos Total de la Evaluación.

DESCRIPCION	TOTAL
Implementación de Equipos	\$4,450
Materiales y reactivos	\$15,342
Costos indirectos	\$285
COSTO TOTAL	\$20,077

Fuente: Elaboración propia

El costo total de la presente evaluación muestra un valor en dólares bastante elevado, ello radica esencialmente en el oro.

CAPITULO VI

SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE

6.1 Seguridad y Medio Ambiente.

El objetivo de este capítulo es garantizar el cumplimiento de las reglas de seguridad y medioambientales en las áreas asignadas al departamento de Química Metalúrgica de la Empresa Suri Gold.

6.2 Generalidades.

En la actualidad se ha tomado con mucha seriedad la seguridad y el medio ambiente, en los laboratorios que realizan este tipo de actividades de Refinación de Oro, han puesto sus propias normas de Seguridad y Reglas Medioambientalistas para una mejor realización de sus operaciones de Producción.

Considerando como principal prioridad la salud de sus operarios, como principal contaminante tenemos las emisiones gaseosas y la descarga de las soluciones ya utilizadas a los efluentes (desagües o alcantarillados), para contrarrestar tales efectos se hecho un diseño de la disposición de los instrumentos de laboratorio, reactivos, la zona del granallado, la zona de la fundición, zonas de ataque químico con su respectiva campana extractora de gases, los lavatorios, la disposición de tanques de gas contra incendios, y las normas de construcción de un laboratorio de esta actividad.

Tomando estas consideraciones se ha tomado distintas variedades de diseño ya sea para un modulo de laboratorio o también para un modulo industrial, dependiendo del tipo de Proceso de Refinación que vamos a realizar.

6.3 Conceptos Fundamentales de Seguridad.

Aplicando la norma de seguridad de la empresa, para su instalación tenemos:

- Ambientes amplios de trabajo donde los operadores puedan moverse sin dificultad.
- Ventilación apropiada con una buena instalación de la extractora de gases, que evitan que las zonas de ataque se carguen de gases nocivos.
- La línea de insumos y aguas están muy cercanas a las zonas donde van a ser utilizados.

- Los revestimientos de mesas y paredes son de material resistente a los ácidos y álcalis, son de color claro donde es notorio cualquier mancha. La limpieza es muy importante.
- Tener a disposición recipientes para las recuperaciones para así evitar las pérdidas.
- Exigir que el operario venga al trabajo con un buen estado de ánimo, que sus problemas estén afuera del centro de trabajo.

6.4 Seguridad y Medio Ambiente en las áreas de laboratorio de la Empresa.

Tabla N° 47. Seguridad y Medio Ambiente en las áreas de laboratorio de la Empresa.

AREA	REGLAS DE SEGURIDAD	REGLAS MEDIOAMBIENTALES
Laboratorio Químico Metalúrgico	<ol style="list-style-type: none"> 1. En todo momento use su equipo de protección personal. 2. No corra riesgos, pregunte si no esta seguro de una instrucción. 3. Ordene y clasifique los reactivos de acuerdo a sus características, clasificándolos en ácidos y alcalinos. 4. Evite en todo momento contacto de los reactivos con piel y mucosas. 5. Enjuagar salpicaduras en la piel inmediatamente con abundante agua. 6. Quitarse inmediatamente la ropa que este impregnada con productos químicos. 7. Todos los reactivos deberán estar perfectamente rotulados y en frascos adecuados. 8. Periódicamente lea los MSDS de los reactivos que usa con mayor frecuencia. 9. Revisar periódicamente las duchas de seguridad y lava ojos del laboratorio. 10. No fumar, no beber ni comer en los recintos del laboratorio. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. La disposición de los residuos se deberá realizar siguiendo el procedimiento Manejo Seguro de Residuos. 2. Contar con paños absorbentes cerca de las zonas de almacenamiento de reactivos para afrontar cualquier derrame. 3. Usar una campana extractora de gases, para la zona de ataque químico. 4. Los residuos en soluciones que no contengan Oro, serán neutralizados para luego ser depositados al desagüe. 5. Las muestras de mineral relave se desechara periódicamente conforme se realicen los procesos de refinación para descongestionar el área.
Almacén de Reactivos del laboratorio	<ol style="list-style-type: none"> 1. El orden y la limpieza son las consideraciones principales para asegurar la seguridad en esta área. 2. No almacenar en esta área solventes ni pinturas, hacerlo solo en estantes adecuados para estos productos. 3. El ambiente debe estar ventilado, y con poca luz, para no contaminar los reactivos. Q.P. 	Deben estar dispuestos en stands apropiados, para evitar el aglomeramiento de los reactivos.

CONCLUSIONES

De las evaluaciones comparativas de los métodos clásicos de refinación de oro, podemos concluir que:

1. La mayor eficiencia de recuperación la tiene el Proceso con Acido Nítrico, puesto que no tiene una etapa adicional como los demás métodos es decir la precipitación con bisulfito, este aspecto influye dentro de la merma final de mineral refinado.
2. Los métodos que han brindado mejores leyes finales en las refinaciones han sido el: Proceso Outokumpu modificado y el Proceso con Agua Regia, se atribuye esta buena ley se debe a la poca presencia de impurezas al momento de realizar el ataque con agua regia, como es sabido el agua regia también disuelve al cobre que está en la incuación y este precipita junto al oro, impidiendo una ley alta al final de la refinación.
3. El método más económico es el Proceso con Acido Nítrico, le siguen en orden el Proceso con Agua Regia, el Proceso Outokumpu modificado y el proceso con Agua regia previa Incuación, la razón de la diferencia de costos radica en la complejidad de los procesos que tiene cada método, es decir mientras mas etapas tenga mas consumo de reactivos habrá, por consiguiente se hace mas caro respecto a los que tengan menos etapas.
4. Los Procesos con Agua Regia y Outokumpu modificado son los que brindan mejores leyes finales de refinación, pero el proceso Outokumpu modificado presenta una ventaja significativa respecto al Proceso con Agua Regia, porque nos permite tratar mineral aurífero de diferentes leyes, es decir presenta mayor adaptabilidad para diferentes leyes de minerales.

RECOMENDACIONES

Se han evaluado 4 métodos clásicos de refinación de oro con muy buenos resultados, se sugiere los siguientes puntos:

1. El granallado es un factor determinante para lograr una buena refinación, se sugiere buscar nuevas alternativas para esta etapa.
2. Los métodos que usan la electrodeposición son los que dan mayores bondades técnicas referidas a las leyes finales, pero su uso es muy escaso en nuestro país, razón por la cual su casi total desconocimiento de los mismos
3. El Perú es un país minero por excelencia, el servicio que puedan requerir los pequeños mineros podrían acarrear la instalación de pequeñas refinerías en algunos centros mineros informales.
4. El impacto al medio ambiente producido por este tipo de procesos, pueden ser mitigados con el uso correcto de neutralizadores de gases, que son posibles construirlos en el medio.
5. El acercamiento a los pequeños mineros y joyeros para poder brindar este tipo de servicios es un factor determinante a la hora de querer incursionar en el negocio de refinación de oro.

BIBLIOGRAFIA

- ALGUACIL, F.J. El Refino del Oro, Centro de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM), Madrid, España 1994
- ALSINA BENAVENTE, Jorge. Los metales en la Joyería Moderna. Segunda Edición, Editorial Alsina Barcelona. 1989
- ARIAS ARCE, Vladimir. Tecnología de Refinación de los Metales Preciosos. 1ra. Edición, Editorial San Marcos, Lima 1996
- AYALA MINA, Jorge – PARDO MERCADO, Richard. Optimización por Diseños Experimentales. CONCYTEC, Lima 1995.
- GAJDA J. George. Gold Refining. Segunda Edición, California EEUU, 1982.
- MISARI CH, Sergio. Metalurgia del Oro. CEPECT, Lima 1994
- PONCE SANCHEZ, Miguel Ángel, Informes Internos SURI GOLD, Juliaca 2003.
- ROJAS, Marcelo, Manual de Investigación y Redacción Científica, Tercera Edición, Book XX pres, Lima 2002
- TUÑÓN SUÁREZ, César. Guía de los Metales Preciosos. Primera Edición. Editorial Omega, Barcelona, 1991.
- VARGAS GALLARDO, Juan. Metalurgia del Oro y la Plata. Segunda Edición, Editorial San Marcos, Lima.
- YOPLAC, Edwilde. Fundición y Refinación de Au y Ag. Editorial UNI, Lima 2001
- Metalurgia Extractiva del Oro, TECSUP, Curso de Actualización Lima 2002,
- Primer Curso Integral de Metalurgia del Oro, UNI, Curso de Actualización Lima 2002
- V Simposium Nacional de Minería Aurífera, UNMSM, Lima 1999
- Worl Gold Council: www.gold.org
- Gold Institute: www.goldinstitute.org
- Kitco: www.kitco.com
- Peru Minería: www.peru-mineria.com

ANEXOS

ANEXO 1.- GLOSARIO

a. Amalgama.

Aleación de mercurio con oro y otro metal.

b. Amalgama seca.

Es cuando se ha extraído todo el exceso de mercurio exprimiéndola con una tela o gamuza; contendrá casi las mismas proporciones de oro y mercurio y en algunos casos mayor proporción de metales preciosos.

c. Barros Anódicos.

Son los residuos de la refinación electrolítica del plomo y del cobre, que contiene entre otros metales, plata, oro, antimonio, bismuto, etc.

d. Bandeja.

Recipiente de acero inoxidable que sirve para secar el precipitado en los secadores.

e. Bullion.

Este término proviene de la palabra francesa “bouillon”, siendo transferido al inglés como boiling (de hervir), término usado en la fundición de metales.

Barra metálica obtenida luego del proceso de fundición de los precipitados. Estando compuesta en un mayor porcentaje por oro y plata.

f. Bullion Refinable.

Se refiere a cualquier aleación de oro o plata que no se ubica en la categoría de oro o plata comerciable, y por consiguiente comprende materiales que ensayan menos de 995 de oro.

g. Bullion Crudo.

Llamado también “Bullion Grueso”, donde el contenido de oro está por debajo del 20%, siendo la diferencia impurezas de cobre, zinc, plomo, plata, etc.

h. Chatarra de oro.

Es el material constituido por desperdicios o desechos de oro.

i. Escorias.

Solidó de aspecto y comportamiento vidrioso compuesto por boratos y silicatos. Es el deshecho de la fundición que se separa del metal por su menor peso específico.

j. Fundentes

Compuestos químicos utilizados con la finalidad de bajar el punto de fusión y oxidar los metales no nobles en el proceso de fundición. Los procesos que se pueden seguir dependerán de la composición química del precipitado y la calidad del producto final que se quiera obtener.

k. Fundición.

Proceso de fusión del precipitado a alta temperatura, 1100 ° C

l. Oro Bullion Comerciable.

Es el oro que ensaya 995.0 milésimas o más partes por mil de oro, moldeado en barras que pesan aproximadamente 400 onzas troy. También incluye barras de moneda fundida que ensaya leyes alrededor de 900.0 partes por mil.

m. Gold Filled y Gold Rolled.

Se llama así a los alambres y láminas de un metal base (generalmente cobre) revestidos de una capa de oro. La cantidad y calidad del gold filled (oro golf) se indica en cada pieza.

n. Oro Fino

Es el oro que ensaya 999.5 o más partes. También llamado como oro de 24 Quilates. Probablemente suene extraño para algunos el que se tenga que mencionar la definición de oro fino, más bien sería la especificación de pureza de un oro, sea este reciclado o afinado, para dar esta especificación de pureza será necesario definirlo mediante alguna NORMA especial para ello tal como la Norma ASTM B 562 la cual establece cuatro categorías para los oros refinados las cuales son:

Tabla 48.- Comparación de Grados de Oro Fino

Grado 99.50 %	Ley mínima 995.0 milésimas
Grado 99.95 %	Ley mínima 999.5 milésimas
Grado 99.99 %	Ley mínima 999.9 milésimas
Grado 99.995 %	Ley mínima 999.95 milésimas

Para oros de 99.5 % o 995 milésimas se considera posible la utilización del ensaye por vía seca para la determinación de la ley de este tipo de material, para oros de las siguientes grados es recomendable realizar los análisis ya no por el contenido de oro si no mas bien por el contenido de impurezas tal como plata, cobre , níquel , cinc , etc. y por diferencia determinar la pureza de este material. Norma ASTM E 1335.



Grafico N° 8.- Modo Explicativo de Grado 995.0 Milésimas

En este Oro se puede utilizar el ensaye por Vía Seca o llamado Copelación. NOM ASTM B-562.



Grafico N° 9.- Modo Explicativo de Grado 999.5 Milésimas

Para este tipo de Oros será necesario utilizar sistemas analíticos tal como Absorción Atómica, ICP, etc., para determinar el contenido de impurezas en estos oros y por diferencia calcular la ley de Oro.

Para poder determinar los contenidos de impurezas en muestras de oro semifinos o finos que excedan las 995 milésimas se deberán utilizar métodos analíticos como absorción atómica, ICP, etc, nuestros índices de medición en estos sistemas instrumentales se encuentran entre las partes por millón es decir una parte por millón es igual a un miligramo de impurezas en un kilogramo de oro fino o representado así 1 parte por millón = 0.000001 kilogramos.

o. Oro Refogado

Es el oro que ha pasado por un proceso de quemado a soplete para expulsar el mercurio que estaba en adherido en el, esto es muy común en los mineros artesanales para comercializar su oro a los acopiadores.

p. Oro Electrolítico

Es el oro refinado electrolíticamente, con una ley mínima de 999.8 milésimas.



Foto N° 23.- Oro refinado Electrolíticamente

q. Oro Platinífero.

Son los materiales de oro o plata refinables que contienen platino, paladio, rodio, rutenio, iridio y osmio, en cantidades que pueden ser o no recuperables económicamente.

r. Oro Aluvial.

Es el oro libre encontrado junto al material desgastado por el agua (arenas); en ocasiones es de color pardo oscuro cuando esta recubierto por óxido de manganeso.

s. Oro Refinado.

Es el oro liberado de sus impurezas.

t. Oro Secundario.

Es el oro recuperado de la chatarra de oro por fundición

u. Precipitado. (Refinación)

También conocido como cemento, mezcla sólida de elementos metálicos valiosos y no metálicos, obtenidos luego de un proceso de precipitación y filtración. (Au, Ag, Zn, Pb, Cu, Fe, SiO₂)

v. Precipitación.

Proceso que consiste en recuperar el oro disuelto en una solución acuosa (Cianurada) en forma sólida, mediante la intervención de un agente reductor (Zn en polvo)

w. Kilate.

Es una medida para expresar la ley de oro, principalmente en aleaciones destinadas a fabricación de artículos de joyería.

Nota: La ley asignada al oro puro es 24 kilates que corresponde a 1000 partes por mil de oro; esto hace que una aleación de oro cuya ley sea de 18 kilates tenga $\frac{3}{4}$ de oro y $\frac{1}{4}$ de aleación. Osea, corresponde a 750 partes por mil de oro refinado.

Anexo 1.a.- Glosario de Mineralogía de los Minerales Auríferos

a.- Electrum.

El oro a menudo ocurre aleado con la plata y el cuando el contenido de plata esta entre 25 – 55 % el mineral es llamado electrum, este tipo de mineral en Puno es conocido como oro platoso, teniendo un color plomo.

b.- Teluros de Oro

La química de los teluros de oro es relativamente compleja con una serie de minerales identificables. La forma mas común de los teluros son: Silvanita, Calaverita, Petzita.

c.- Pirita

La pirita es el mineral sulfurado mas comúnmente asociado con el oro. Es muy comun en todo el mundo y se ubica en cuerpos de mineral sulfurado.

d.- Minerales Carbonaceos

Los componentes de carbon absorben el oro disuelto en mayor o menor grado, durante la lixiviacion con cianuro de sodio. Estos minerales requieren un pre – tratamiento de oxidación previo a la cianuracion.

e.- Minerales Auríferos

Ademas de la presencia de oro nativo, se presentan otras aleaciones y especies

Aleaciones Naturales

- Oro argentífero (electrum) (Au, Ag)
- Oro cuprífero (cuproaururo) (Au, Cu)
- Oro paladinífero (porpesita) (Au, Pd)
- Oro rodonífero (rodita) (Au, Rh)
- Oro irídico (Au, Ir)
- Oro platinífero (Au, Pt)
- Oro bismutífero (Au, Bi)
- Amalgama de oro (Au₂Hg₃)
- Maldonita (Au₂Bi)
- Auricúprico (AuCu₃)
- Paladio cupriáurico (Cu,Pd)₃Au₂

Sulfuros

- Uytembogarditita (Au₃AuS₂)

Telururos

- Calaverita (Au,Ag)Te₂
- Krennerita (Au,Ag)Te₂
- Montbrayita (Au,Sb)₂Te₃
- Muthmannita (Au,Ag)Te

- Silvanita $(\text{Au,Ag})\text{Te}_4$
- Kostavita $(\text{Au,Cu})\text{Te}_4$
- Nagyagita $(\text{Pb}_5\text{Au}(\text{Te,Sb})_4\text{S}_5$

Antimoniuros

- Aurostibita (AuSb_2)

Seleniuros

- Fischesserita $(\text{AuAg}_2\text{Se}_2)$

Anexo 1.b.- Glosario de Tipos de yacimientos Auríferos

A.- Vetas y filones de cuarzo aurífero.

Las vetas de cuarzo con mineralización de oro nativo y otros metales de menor importancia ocurren en dos unidades geológicas principales:

- En el Batolito Occidental Andino especialmente en una parte media (área de Nazca, Ocoña).
- En el paquete de rocas paleozoicas y rocas intrusivas vecinas que constituyen la Cordillera Oriental.

B.- Depósitos Epitermales

Son las vetas hidrotermales de cuarzo, carbonatos, baritina y fluorita, que contienen oro nativo y telururos de oro y cantidades variables de plata. Constituyen vetas emplazadas en espacios abiertos y la gran parte se encuentra en rocas volcánicas muy alteradas de edad terciaria.

b.1.- Placeres

Compuestos de arena no consolidadas o semi-consolidadas y de gravas, las que contienen muy pequeñas cantidades de oro nativo y otros minerales pesados. La mayor parte son depósitos fluvio-glaciales y glaciales; ocurren a lo largo de valles y cauces actuales o terrazas de flujos preexistentes.

b.2.- Placeres Fósiles

Estos son depósitos formados en épocas geológicas muy antiguas. Todos los ejemplos conocidos son pre-cambrianos y han sido litificados hasta convertirse en conglomerados formando parte del basamento, están compuestos por cuarzo, pirita y minerales micáceos.

b.3.- Depósitos Diseminados de Oro

Los yacimientos de este tipo han sido puestos en explotación recientemente. Consisten en diseminados de oro en granos muy finos en calizas, dolomitas carbonáceas y limosas. El oro que mayormente es sub-microscópico, esta acompañado de sílice, pirita y otros sulfuros.

b.4.- Oro como Subproducto.

Donde el oro es el constituyente menor común de la mena y puede ser recuperado durante los procesos de fundición y refinación de los concentrados de los metales base. A pesar de que el contenido de oro en estas menas es baja, la producción es significativa debido a los altos tonelajes de mineral que se tratan.

ANEXO 2: PRINCIPALES HECHOS DE LA HISTORIA DEL ORO

560 AC	Las primeras monedas de oro puro son acuñadas en Lidia, reino de Asia Menor
50	Los romanos emitieron una moneda de oro llamada Aureus
1284	Venecia introduce el ducado de oro que pronto se convierte en la moneda mas popular del mundo y prevalece asi por mas de cinco siglos. Gran Bretaña emite su mayor moneda de oro, el Florin, a la cual le sigue el Noble, el Angel, la Corona y la Guinea.
1511	El Rey Fernando de España envía misiones de exploración al Hemisferio Occidental con la orden de conseguir oro
1717	Isaac Newton, titular de la casa de la moneda de Londres, estableció un precio del oro que permaneció por 200 años
1787	La primera moneda norteamericana es acuñada por el orfebre Ephraim Brasher
1792	El acta del Sistema Monetario de Estados Unidos es bimetálico (oro y plata) y define equivalencias con el dólar de 24,75 granos de oro fino y de 371.25 granos de plata fina
1848	La fiebre del oro se inicia en California cuando James Marshall encuentra oro cerca de la convergencia de los rios América y Sacramento.
1850	Edgard Hammong Margraves, descubre oro en New South Wales, Australia.
1859	Se descubre oro y plata en Nevada. Cinco años más tarde, Nevada se convierte en un nuevo Estado.
1886	Se descubre oro en Sudáfrica
1896	Se descubre oro en el norte de Canadá, y dos años mas tarde, en 1898, se descubre oro en Alaska.
1900	Estados Unidos adopta el patrón de oro para su moneda.
1933	El presidente Roosevelt prohíbe la exportación de oro; suspende la convertibilidad de las cuentas de dólares en oro; establece que los ciudadanos norteamericanos entreguen todo el oro que posee; y establece un precio diario para el oro.
1934	Se fija el precio del oro a 35 dólares por onza
1944	El Acuerdo de Bretón Woods establece un patrón de cambio de oro internacional (internacional gold Exchange Standard). Define equivalencias de valores para sus monedas en términos de oro y obliga a los países miembros a convertir
1968	El 15 de marzo, los bancos centrales abandonaron el precio fijo del oro de 35 dólares por onza troy y lo dejamos flotar
1973	El gobierno norteamericano abandona definitivamente la convertibilidad de dólar en oro y se permite que los precios del oro floten libremente. En junio, el mercado del oro en Londres supera los 120 dólares la onza
1974	El 31 de diciembre el gobierno norteamericano da por concluida la prohibición de tenencias individuales de oro.
1980	El 21 de enero, el oro registra el precio histórico de 870 dólares en New York
1999	Se introduce el Euro, la moneda comunitaria de la Unión Europea, respaldada por un nuevo Banco Central de esos países, el cual tiene 15% de sus reservas de oro.

Fuente: The Gold Institute, History of Gold.

ANEXO 3: PROYECTO DE AMPLIACION DE REFINERIA SURI GOLD

Requerimientos Básicos para las Instalaciones de la Refinería

- Ambientes amplios de trabajo donde los operadores pueden moverse sin dificultad.
- Ventilación apropiada con una buena instalación de extractores de gases que eviten que las zonas de ataque se carguen con gases nocivos.
- Líneas de insumos y agua muy cercanas a las zonas donde van a ser utilizadas y de preferencia con alimentación por gravedad o bombeo evitando el manipuleo de bidones o frascos.
- Revestimiento de mesas y paredes con material resistente a los ácidos o álcalis y de color claro, donde es notorio cualquier mancha extraña, la limpieza es muy importante.
- Canaletas y pozos de recuperación para evitar pérdidas irreparables, cualquier accidente que pueda ocurrir no va a ser irremediable si se tiene las precauciones del caso.
- Sistema de video y control para la seguridad.

ANEXO 4: PRECIO DEL ORO EN LA CIUDAD DE JULIACA

Se parte tomando la cotización internacional del oro, normalmente se toma el spot (precio del oro en tiempo real), se divide entre 31.1035 (puesto que la cotización esta dada en dólares/onzas) para tenerlo en gramos.

$$\text{POSL} = \text{CI} \times \text{LM} / 31.1035$$

Se descuenta la merma de fundición del mineral, entonces tenemos:

$$\text{PODM} = \text{POSL} - \text{MM}$$

Ahora hay que descontar la ganancia del acopiador que va desde 2% hasta 8%, entonces se tiene:

$$\text{PDGA} = \text{PODM} - \text{GA}$$

Es necesario tener ahora el precio en soles, se multiplica por el tipo de cambio.

$$\text{PSTC} = \text{PDGA} \times \text{CD}$$

Donde:

POSL: Precio del oro según la ley del mineral

CI: Cotización Internacional \$

LM: Ley del mineral % en peso

PODM: Precio del oro descontando merma del mineral.

MM: Merma Mineral % en peso

PDGA: Precio del oro descontado la ganancia del acopiador \$

GA: Ganancia del acopiador \$

PSTC: Precio según el tipo de cambio del día en dólares \$

CD: Cotización del dólar al día.\$

La fuente para tener la cotización del oro es: www.kitco.com.

ANEXO 5: FLOW SHEET DEL PROCESO DE REFINACION DE ORO

ANEXO 6: PRUEBA DE LA PÚRPURA DE CASSIUS

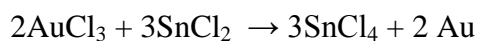
La púrpura de Cassius es un método de ensayo cualitativo, fácil y seguro que permite determinar si una solución contiene oro o no.

Materiales

- 2 Tubos de ensayo
- 1 pinza
- Un mechero.
- Cloruro Estannoso
- Ácido Clorhídrico

Procedimiento

- Se toman de tres a cinco gotas de la solución de muestra a analizar y se introducen en uno de los tubos de ensayo.
- Al mismo tubo de ensayo, que contiene las gotas de muestra, se le añaden 2 o 3 ml de ácido clorhídrico, químicamente puro.
- Se sujeta el tubo de ensayo con la ayuda de la pinza e inclinando el tubo unos 45°, se calienta el líquido por medio de una llama, hasta ebullición.
- Déjese hervir durante unos 15 a 30 segundos y, a continuación, déjese en reposo.
- Tómese el otro tubo de ensayo e introdúzcase en el mismo 0.5 gr de cloruro estannoso, añádanse 3 ml. de ácido clorhídrico y agítese hasta la total disolución del cloruro estannoso.
- Mézclense las soluciones de los dos tubos de ensayo y agítese un poco. El cloruro estannoso precipita al oro según la reacción:



El color de la mezcla varía según el contenido de oro. Si el contenido de oro es nulo, el color no cambia y queda claro y transparente.

Si la solución contiene oro, el color cambia al púrpura, siendo el color más intenso cuando mayor sea el contenido de oro.

También puede utilizarse este método para otros metales preciosos, para la plata vira al color blanco, para el platino al amarillo y para el paladio al verde.

ANEXO 7: NORMA ISO 11426 PARA ANALISIS DE ORO

ANEXO 8: PRUEBA DE ESPECTOFOTOMETRIA DE ABSORCION ATOMICA PARA ANALISIS DE MINERALES: ORO

1.- DETERMINACION DE ORO

1.1.- Condiciones de medición:

- Corriente : 12 mA
- Longitud de onda : 242.8 nm
- Ancho de ranura : 0.5 nm
- Modo de lámpara : BGC – D2
- Altura de quemador : 7 mm
- Angulo de quemador : 0
- Flujo de combustible : 1.8 L/min
- Oxidante : aire

1.2.- Curva de calibración: 0; 4,000; 12,000; y 20,000 ppm

2.- OPERACIÓN

- Pesar 1.00 g de muestra pulverizada
- Colocar la muestra pesada en un vaso de precipitados
- Agregar 5 ml de HCl Q.P. y 15 ml de HNO₃ Q.P.
- Tapar con luna de reloj, calentar llevando hasta casi sequedad.
- Limpiar las paredes del vaso y la luna de reloj con agua destilada, con ayuda de una piseta.
- Agregar 5 ml de HCl Q.P. y llevar a ebullición por 3 – 4 minutos como máximo.
- Filtrar en fiola de 100 ml y enrasar con agua destilada.
- Leer en espectrofotómetro A.A. según las indicaciones del profesor
- Realizar los cálculos y expresar sus resultados en g/Tn

Interferentes: Si coexisten Fe, Cu y Ca en cantidades grandes se presenta interferencia negativa. Sin embargo la interferencia química es pequeña.

Nota: Sobre 200 g/Tn copelar 5g.

Fuente: UNIVERSIDAD NACIONAL SAN AGUSTIN DE AREQUIPA LABORATORIO DE SERVICIOS INDUSTRIALES 2003

ANEXO 9: ETAPAS DE NEUTRALIZACION PARA ELIMINAR CONTAMINANTES

1. NEUTRALIZACION DE SOLUCIONES.-

La solución pobre luego de la precipitación de oro, pasa a un tanque de neutralización donde se agrega solución de hidróxido de sodio al 25 %, hasta llevar a un Ph = 9, y con la ayuda de una bomba esta solución se evacua al relave general de planta.

2. NEUTRALIZACION DE GASES.-

Los gases de las reacciones en las distintas etapas del proceso son, colectadas los reactores cerrados para ser lavados primeramente en la torre de neutralización con hidróxido de sodio y el siguiente paso es por la torre de oxidación con peroxido de hidrogeno, para finalmente pasar por una torre de filtrado con carbón vegetal, con la ayuda de un extractor los gases serán evacuados al medio ambiente lo mas limpio posible.

3. TORRE DE LAVADOS CAPTACION DE POLVOS.-

Los polvos que se producen al momento de cargar y por las reacciones que ocurren dentro del crisol, son captados por medio de campanas y con la ayuda del extractor son llevados a la torre de lavados, donde una contracorriente de agua que humedecerán a los polvos y serán llevadas al fondo del tanque las partículas sólidas. Los lodos de esta etapa son conducidos cada cierto tiempo mediante un ducto al tanque con agua regia.

ANEXO 10: QUE ES EL GOOD DELIVERY

Good Delivery, representa la medida estándar de calidad en el lingote de oro y plata usado en transacciones físicas dentro del mercado de Londres. El Good Delivery, viene instaurado desde el siglo XVIII, creció más rápidamente en el siglo XIX (a consecuencia del Californiano, descubrimientos australianos y sudafricanos de Oro). Para alcanzar el Good Delivery en una nueva refinería debe de encontrar las normas exigentes del Comité Físico de la Asociación de Mercado de Lingote de Londres (LBMA).

Hasta el año 2000, la lista incluye a 60 refinerías en 28 países, algunos han cambiado su señal o su ubicación.

Las características de estos lingotes son los siguientes:

- Deben estar comprendidas dentro de pureza en estos rangos como mínimo 995 partes por 1000 (al menos) y 999.9 ser la calidad posible más alta.
- El peso entre mínimo y máximo debe estar comprendido entre 350 y 430 onzas finas.
- Deben llevar el número de serie y el sello, año de fabricación.
- Las barras deben ser de aspecto bueno, libre de cavidades superficiales y otras irregularidades, como en las acodaduras y el encogimiento excesivo.
- Las barras deben ser fáciles para manejarse y fácil para apilar.



Foto N° 24. Lingotes de Oro con el sello Good Delivery

ANEXO 11: REFINERÍAS RECONOCIDAS INTERNACIONALMENTE

Compañía Refinadora	Formas de Intercambio			
Australia				Comex
Engelhard Australia		Tokio		
Golden West Refining Corporation Limited	Londres	Tokio	Zurich	Comex
Johnson Matthey (Australia) Ltd.		Tokio		Comex
Perth Mint		Tokio		
Wester Australian Mint (trading as Australian Gold Refineries AGR)	Londres	Tokio	Zurich	
Belgica				
Johnson Matthey Pauwels S.A.				Comex
Metallurgie Hoboken Overpelt S.A.				Comex
Union Minieri S.A., Business Unit Hoboken	Londres		Zurich	Comex
Brasil				
Banco Ourinvest S.A.	Londres		Zurich	
Casa de Moeda do Brasil				Comex
Companhia Real de Metais				Comex
CRM – Comercial e Refinadora de Metais S/A	Londres		Zurich	
Degussa – Huls S.A.	Londres		Zurich	Comex
Mineracao Morro Velho S.A.	Londres		Zurich	
Canadá				
Degussa Canadá Limited				Comex
Engelhard Industries of Canadá Limited				Comex
Johnson Matthey Limited	Londres	Tokio	Zurich	Comex
Noranda Metallurgy Inc./ CCR Refinery	Londres		Zurich	Comex
Royal Canadian Mint	Londres	Tokio	Zurich	Comex
China				
The Gold and Silver Refinery of China	Londres		Zurich	
Neimenggu Precious Metal Refinery of China	Londres		Zurich	
Colombia				
Banco de la Republica, Laboratorio de Certificacion de Oro	Londres		Zurich	
Francia				
Compagnie des Metaux Precieux		Tokio		Comex
Comptoir Lyin – Alemand Louyot		Tokio		Comex
Engelhard – CLAL	Londres	Tokio	Zurich	Comex
Alemania				
Degussa AG		Tokio		Comex
W.C. Heraeus GmbH	Londres		Zurich	Comex
Norddeutsche Affinerie Aktiengesellschaft	Londres		Zurich	Comex
Hong Kong				
Heraeus Ltda.				Comex
Johnson Matthey Hong Kong	Londres		Zurich	
Indonesia				
PT Aneka Tambang (Persero) Tbk	Londres		Zurich	
Italia				
Chimet SpA	Londres		Zurich	
Metalli Preziosi SpA	Londres		Zurich	Comex
Japon				
Chugai Mining		Tokio		
Dowa Mining		Tokio		
Furukawa		Tokio		
Ishifuku Metal Industry Co., Ltd.	Londres	Tokio	Zurich	
Matsuda Sangyo	Londres	Tokio	Zurich	
Mitsubishi Materials Corporation	Londres	Tokio	Zurich	Comex
Mitsubishi Metal Corporation				Comex
Mitsui Mining and Smelting Co., Ltd	Londres	Tokio	Zurich	
Nippon Mining & Metals Co. Ltd.	Londres	Tokio	Zurich	
Sumitomo Metal mining Co., Limited	Londres	Tokio	Zurich	
Tanaka Kikinzoku Kogyo K.K.	Londres	Tokio	Zurich	Comex
Tokuriki Honten Co., Limited	Londres	Tokio	Zurich	
Kazakhstan				
Kazzinc Joint Stock Company	Londres		Zurich	
Korea, Democratic People's Republic of Central Bank, DPR of				

Korea	Londres		Zurich	
Korea, Republic of Korea Zinc Co., Ltd.	Londres		Zurich	
LG Metals Corporation		Tokio		
LG – Nikko Copper Inc.	Londres	Tokio	Zurich	
Kyrgyz Republic				
Kyrgyzaltyn JSC	Londres		Zurich	
Mexico				
Met-Mex Peñoles, S.A.	Londres		Zurich	
Netherlands				
H. Krijfhout & Zoon's Edelmetaalbedrijven BV	Londres		Zurich	Comex
Schone Edelmetaal BV	Londres		Zurich	Comex
Filipinas				
Central Bank of the Philippines	Londres		Zurich	
Rumania				
Allied Deals Phoenix SA Baia Mare	Londres		Zurich	
Rusia				
Joint Stock Company Ekaterinburg NonOJSC "Krastvetmet"	Londres		Zurich	
Federal State Enterprise Novosibirsk Refinery	Londres		Zurich	
Prioksky Plany of Non – Ferrous Metals	Londres		Zurich	
State – Owned Enterprise Shyolkovsky Factory	Londres		Zurich	
Sud Africa				
Rand Refinery Limited	Londres	Tokio	Zurich	Comex
España				
Sociedad Española de Metales Preciosos S.A.	Londres		Zurich	
Suecia				
Boliden Mineral AB	Londres		Zurich	
Suiza				
Argor – Heraeus S.A.	Londres		Zurich	
Argor – S.A.				
Cendres & Metaux S.A.	Londres		Zurich	
Credit Suisse				
Metaux Précieux S.A. Metalor	Londres		Zurich	
PAMP S.A.	Londres		Zurich	Comex
Swiss Bank		Tokio		
UBS AG		Tokio		
Union Bank of Switzerland		Tokio		
Valcambi S.A.	Londres	Tokio	Zurich	Comex
Inglaterra				
Engelhard		Tokio		
Engelhard – CLAL UK Limited		Tokio		Comex
Johnson Matthey PLC	Londres	Tokio	Zurich	
Johnson Matthey Chemicals Ltd.				Comex
Sheffield Smelting Co. Ltd.				
Estados Unidos				Comex
Asarco Inc	Londres		Zurich	Comex
Engelhard – CLAL USA				
Engelhard Corporation	Londres		Zurich	Comex
Golden West Refining Corporation Limited / Handy & Harman				Comex
Handy / Harman				Comex
Heraeus Incorporated				Comex
Homestake Mining Company				Comex
Johnson Matthey Inc.	Londres	Tokio	Zurich	Comex
Johnson Matthey Refining Corp.				Comex
Metalor USA Refining Corp	Londres	Tokio	Zurich	Comex
Sabin Metal Corporation				Comex
United States Metals Refining (Div. of Amax Copper , Inc)				Comex
Uzbekistan				Comex
Amaly Mining and Metallurgical Complex (AMMC)	Londres		Zurich	Comex
Navol Mining & Metallurgical Combinat	Londres	Tokio	Zurich	
Zimbabwe				
Fodality Printers and Refiners (Private) Ltd.	Londres		Zurich	

Fuente: The Gold Institute