

FISICO-QUIMICA METALURGICA

EQUILIBRIO TERMODINÁMICO Y RELACIONES DE FASES

Clase 09

Prof. Dr. Leandro Voisin A.

- ✓ *Diagramas de fases de speiss de arsénico y antimonio*
- ✓ *Relaciones de fases en los sistemas cuaternarios Cu-Fe-S-As y Cu-Fe-S-Sb a 1473 K (fusión de cobre)*
- ✓ *Estudio experimental de la reducción de escoria/mata bajo atmósfera reductora*
- ✓ *Relaciones de fase y distribución de elementos menores en los sistemas Cu-Fe-As y Cu-Fe-Sb saturados con carbón a 1473 K y sus implicación en procesos metalúrgicos*
- ✓ *Relaciones de fase y distribución de elementos menores en los sistemas Cu-Fe-S-As y Cu-Fe-S-Sb saturados con carbón a 1473 K y sus implicación en procesos metalúrgicos*

Arsénico y antimonio en la calidad de los metales

Entre las impurezas, el arsénico y el antimonio son los elementos más conocidos debido a su perjudicial efecto durante la producción de metales tales como cobre, plomo, cobalto, níquel, cinc, etc.

La presencia de estos perjudiciales elementos aún en pequeñas cantidades afecta las propiedades eléctricas y mecánicas de los metales producidos.

Speiss: *compuestos de arsénico o antimonio o mezclas de ellos con elementos de cobre, hierro, níquel o cobalto generados en los procesos de fusión. Arsenides of Cu_3As , Fe_2As , Ni_3As_2 , etc. Aleaciones base Cu-Fe con alto contenidos de As, Sb*

Arsénico y antimonio en el procesamiento de minerales

Tabla periódica de los elementos

Grupo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	I	II											III	IV	V	VI	VII	VIII
Periodo																		
1	1 H																	2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba	* 	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra	** 	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Uub	113 Uut	114 Uuq	115 Uup	116 Uuh	117 Uus	118 Uuo
Lantánidos	*	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu		
Actínidos	**	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr		

SPEISS (red box around elements 26-29 and 30-31)
PGM, PM (purple box around elements 21-25 and 26-29)

Alcalinos	Alcalinotérreos	Lantánidos	Actínidos	Metales de transición
Metales del bloque p	Metaloides	No metales	Halógenos	Gases nobles

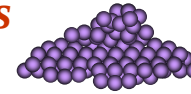
Arsénico y antimonio en el procesamiento de minerales

Sulfuros

CONMINUCION

FLOTACION

Concentrados de Cobre



Aumento en la demanda del tratamiento de minerales complejos con altos contenidos de As y Sb

Producción de metales con contenidos de impurezas que exceden las normas

Multas económicas (fundiciones). Descarte ó excesivo almacenamiento de minerales ricos en impurezas (minería).

La eliminación de impurezas **I previo a la etapa final de refinó es requerida**

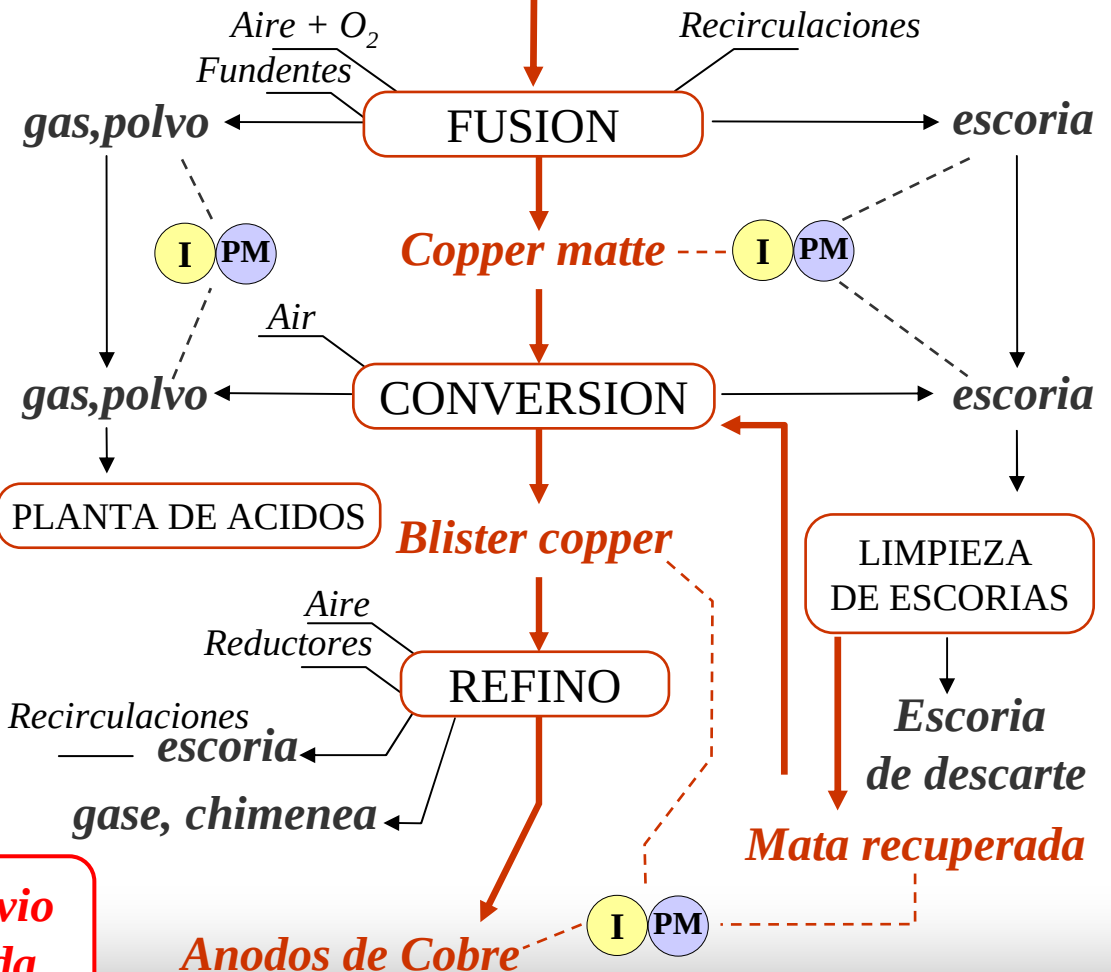


Diagrama binario de fase del sistema Fe-As

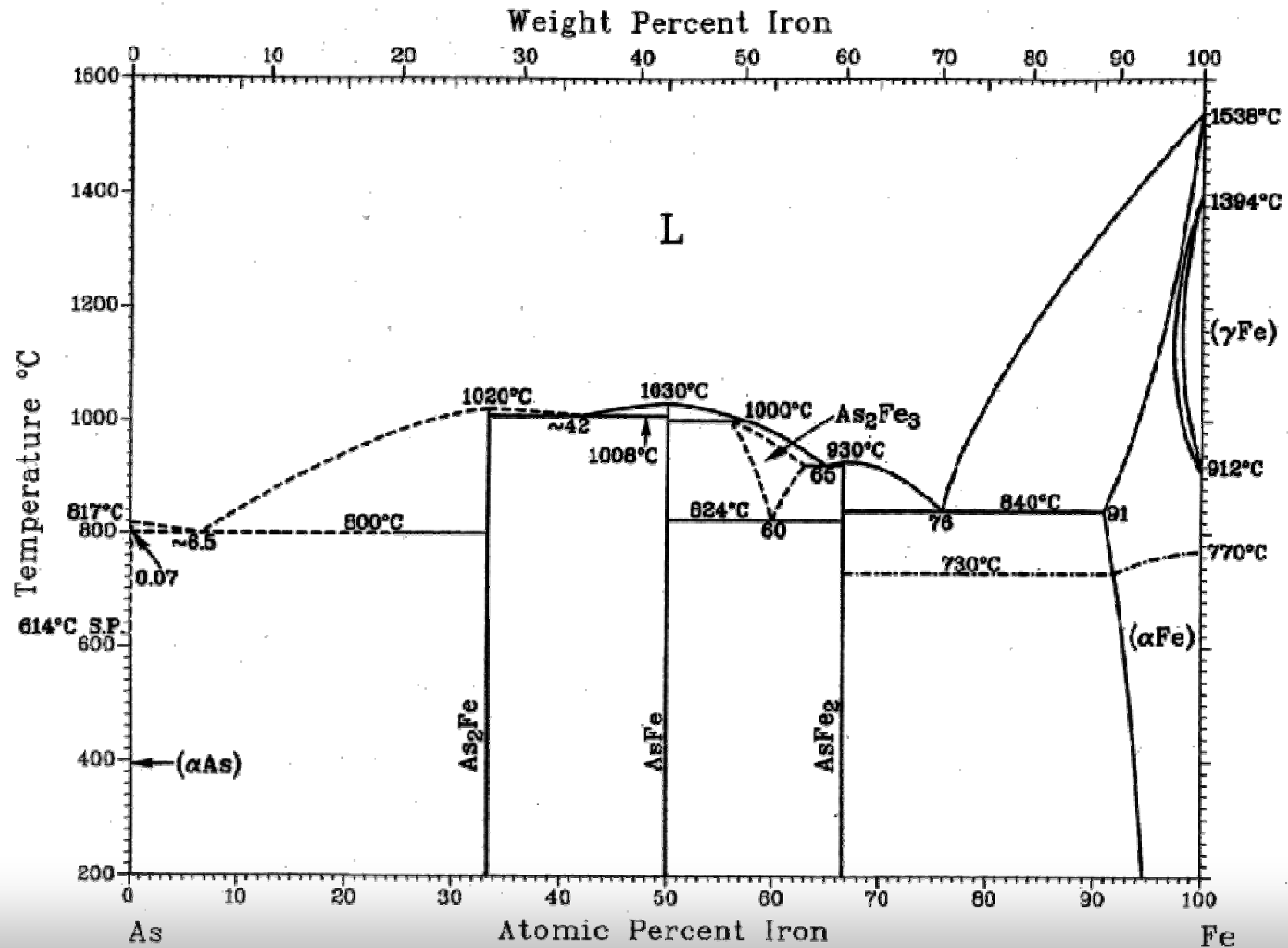


Diagrama binario de fase del sistema Cu-As

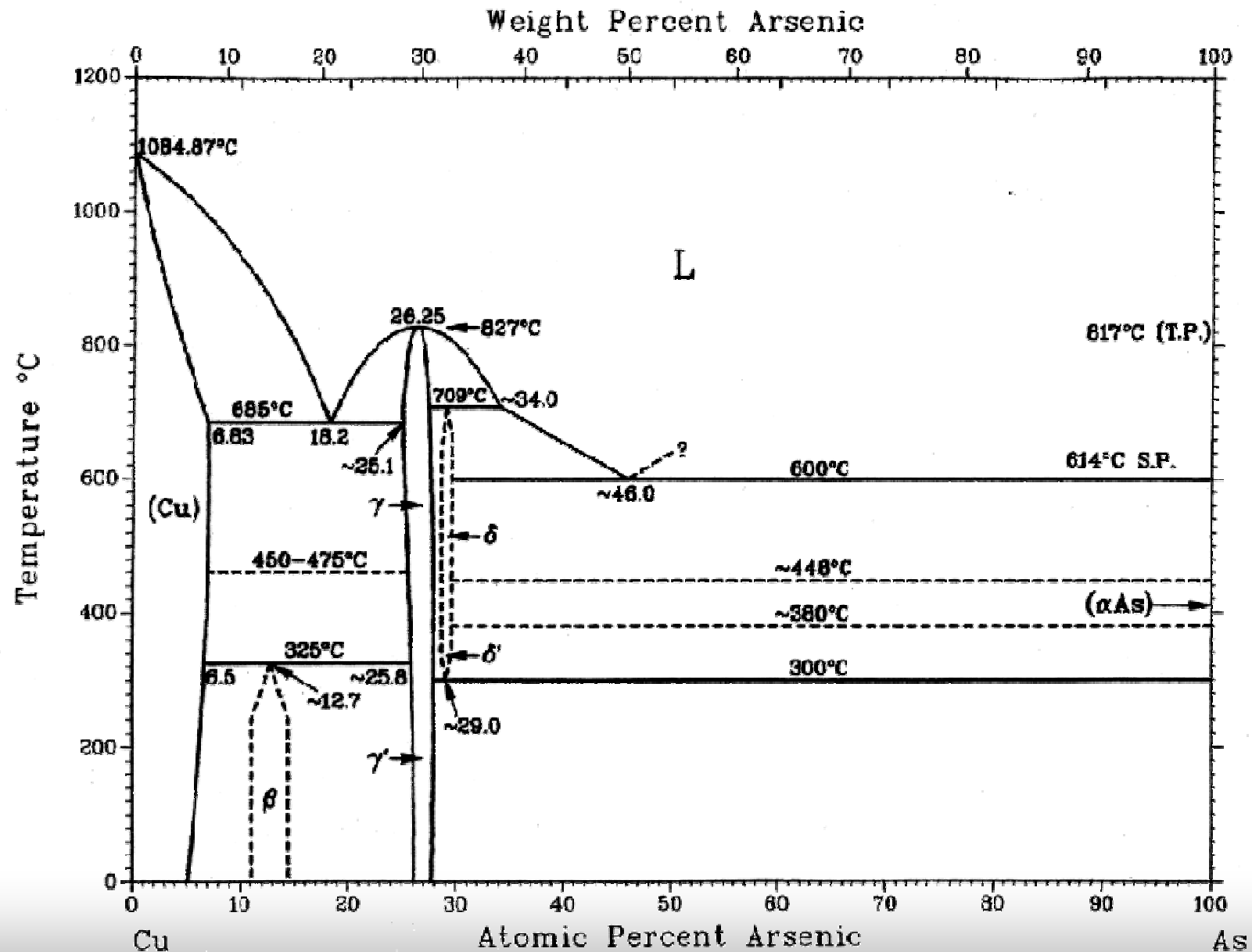


Diagrama binario de fase del sistema Fe-Sb

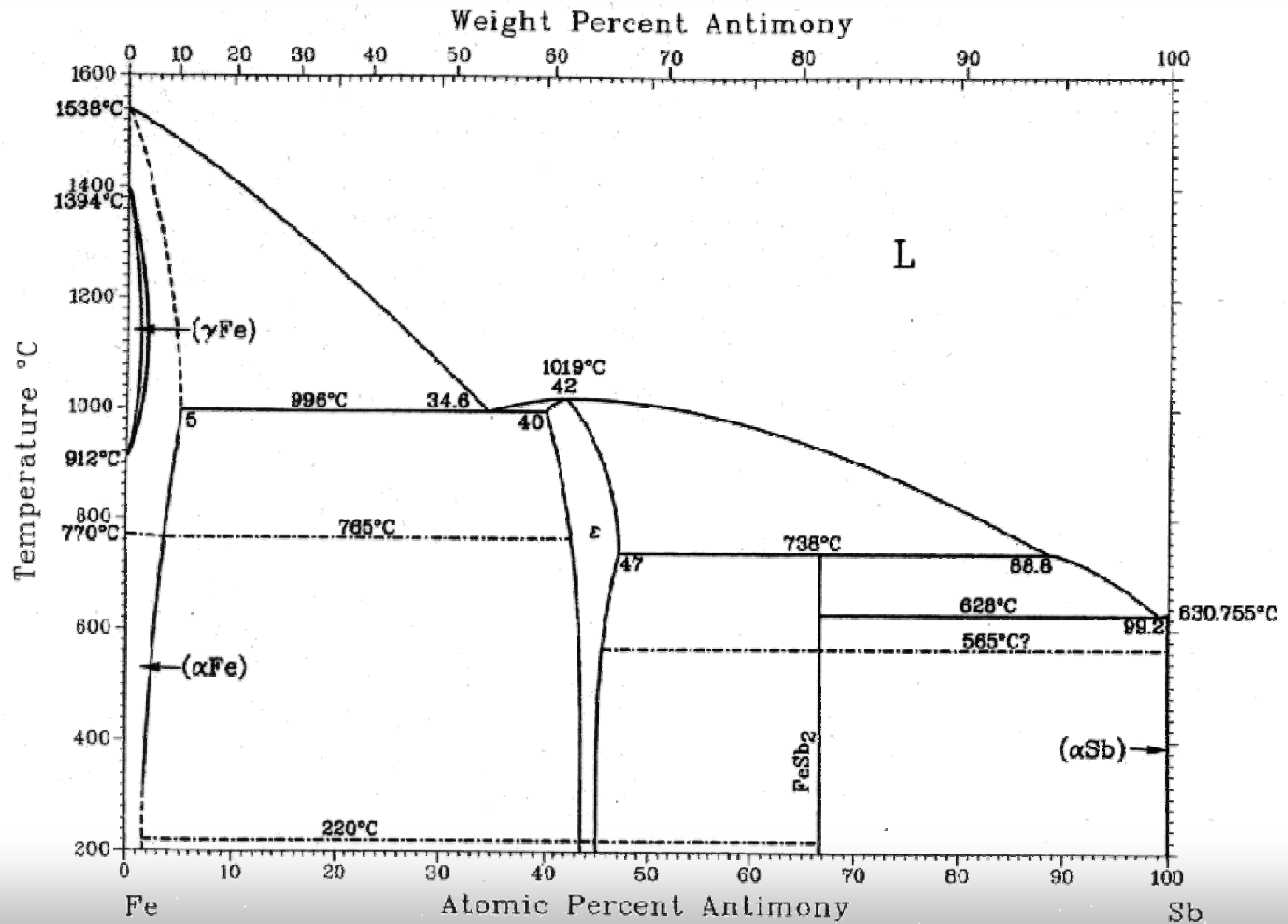


Diagrama binario de fase del sistema Cu-Sb

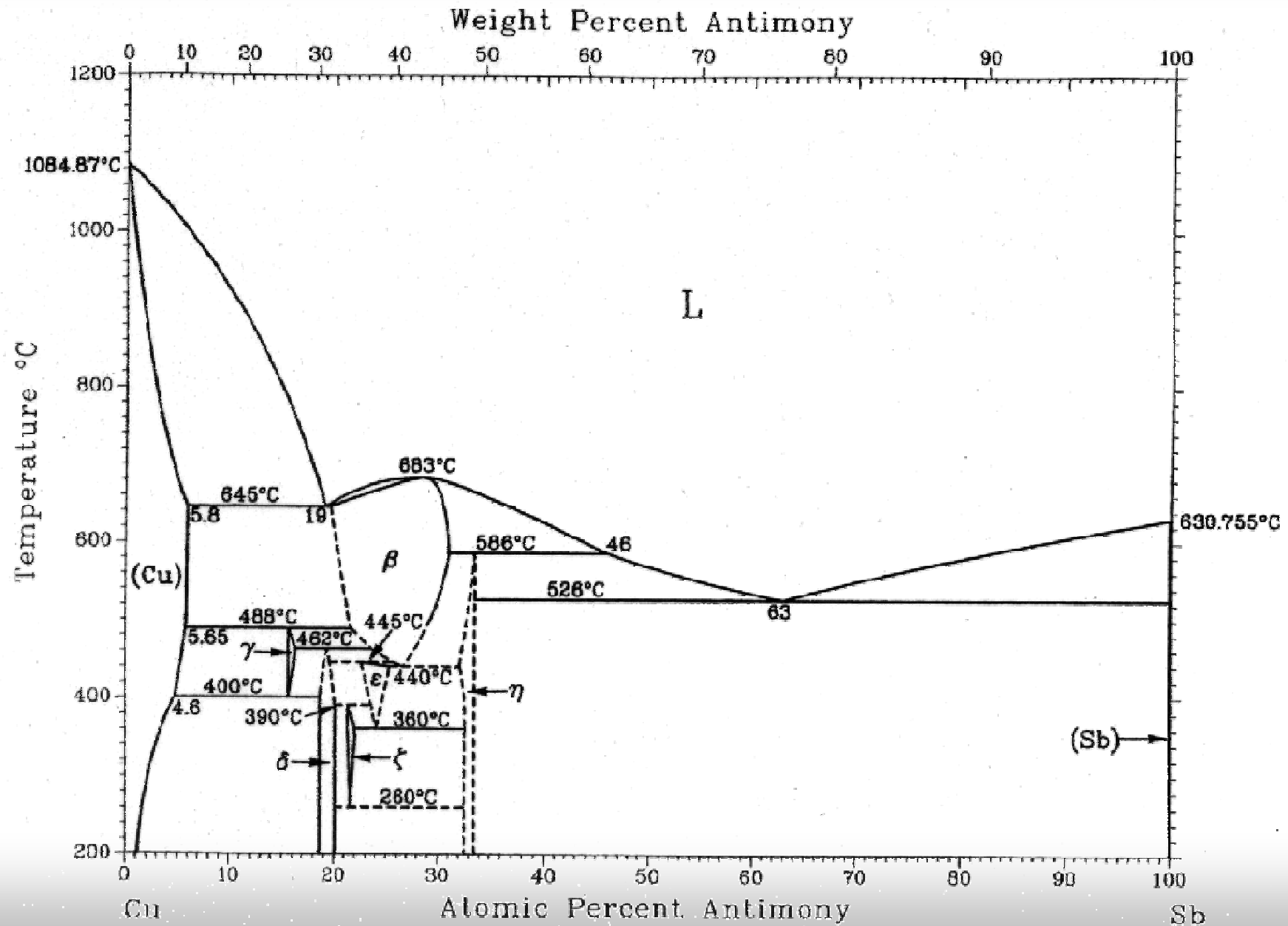


Diagrama ternario de fase del sistema Cu-Fe-As a 1473 K

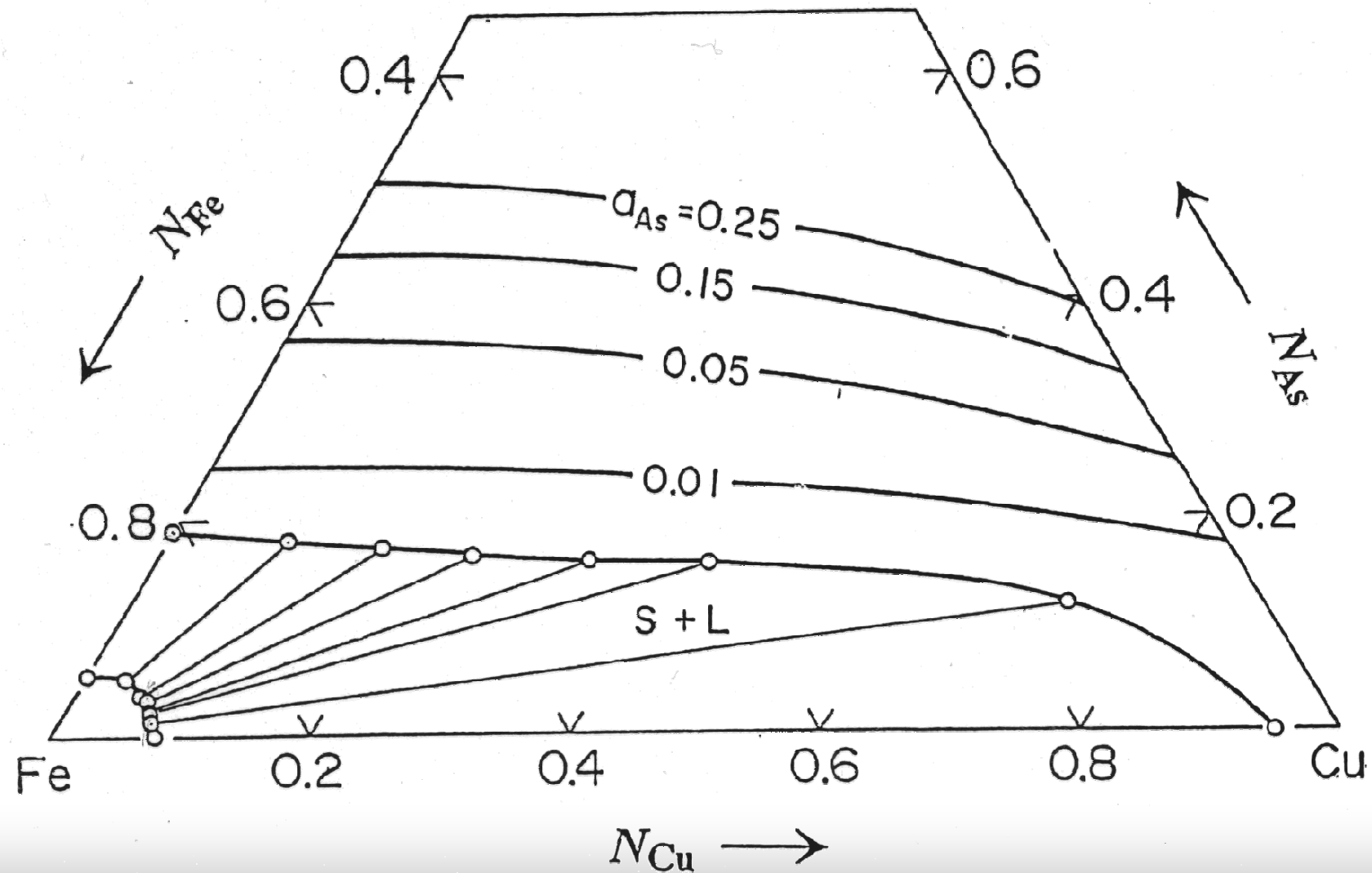
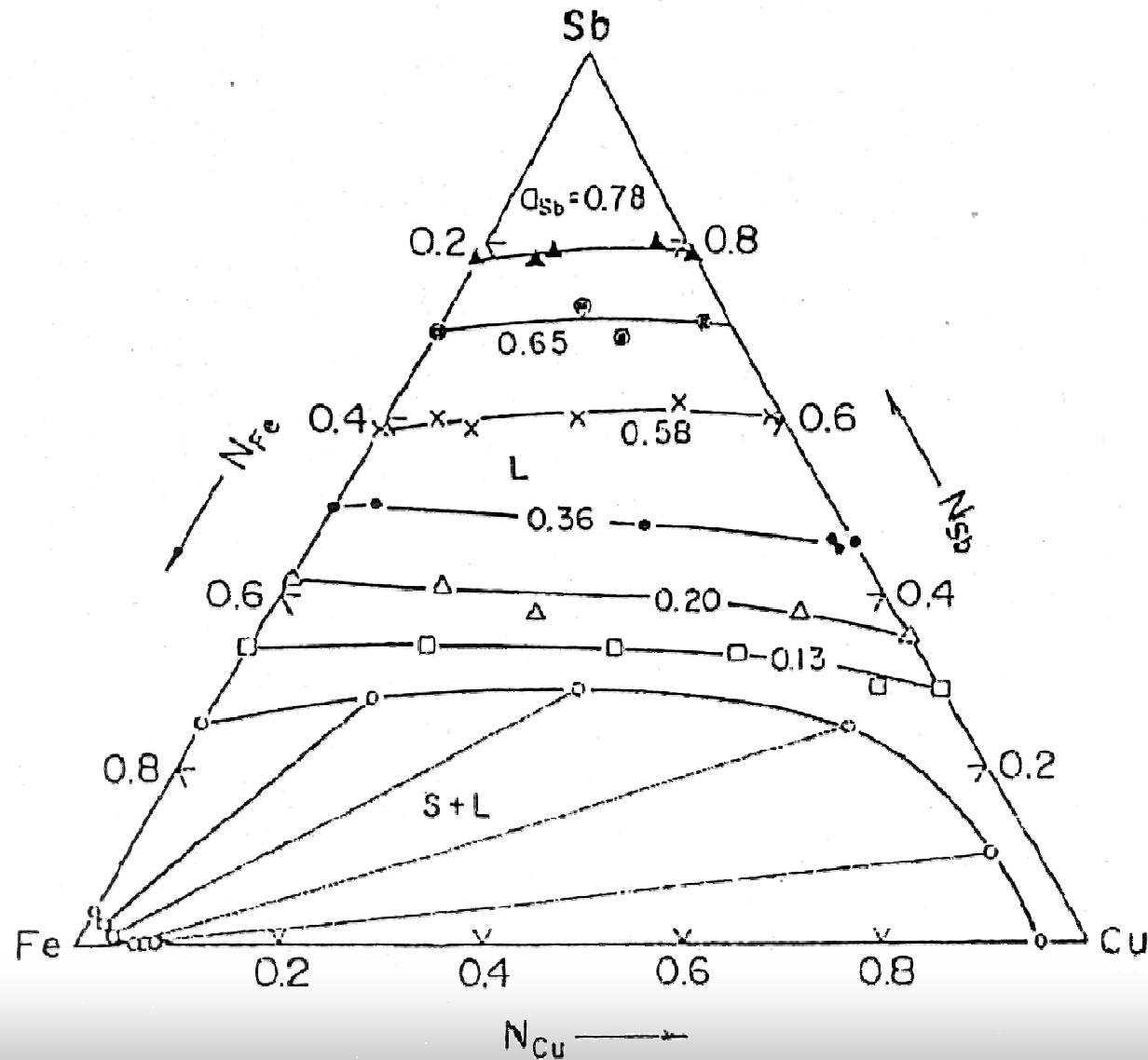


Diagrama ternario de fase del sistema Cu-Fe-Sb a 1473 K



- ✓ *Diagramas de fases de speiss de arsénico y antimonio*
- ✓ *Relaciones de fases en los sistemas cuaternarios Cu-Fe-S-As y Cu-Fe-S-Sb a 1473 K (fusión de cobre)*
- ✓ *Estudio experimental de la reducción de escoria/mata bajo atmósfera reductora*
- ✓ *Relaciones de fase y distribución de elementos menores en los sistemas Cu-Fe-As y Cu-Fe-Sb saturados con carbón a 1473 K y sus implicación en procesos metalúrgicos*
- ✓ *Relaciones de fase y distribución de elementos menores en los sistemas Cu-Fe-S-As y Cu-Fe-S-Sb saturados con carbón a 1473 K y sus implicación en procesos metalúrgicos*

Diagrama ternario de fase del sistema Cu-Fe-S a 1473 K

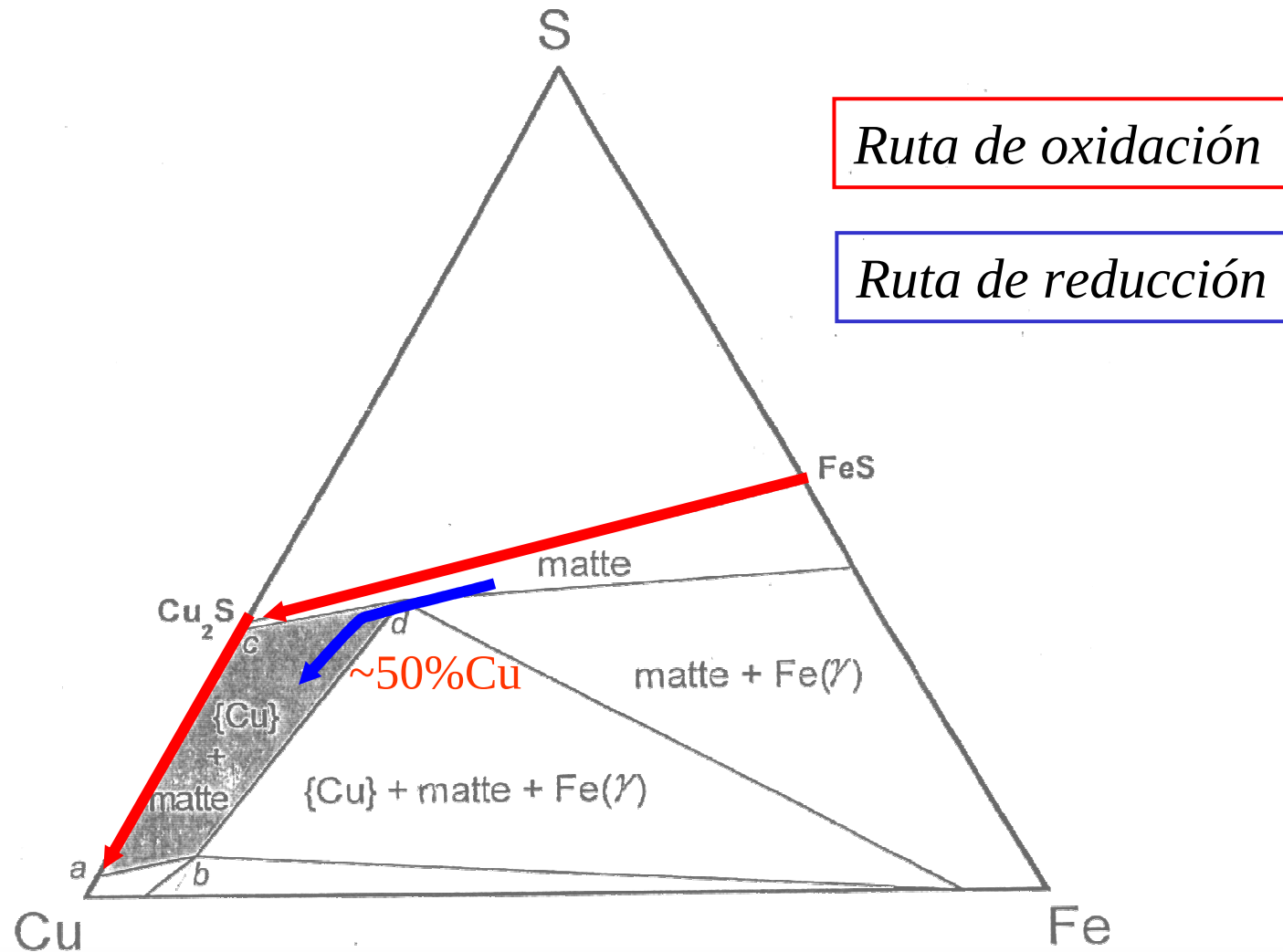
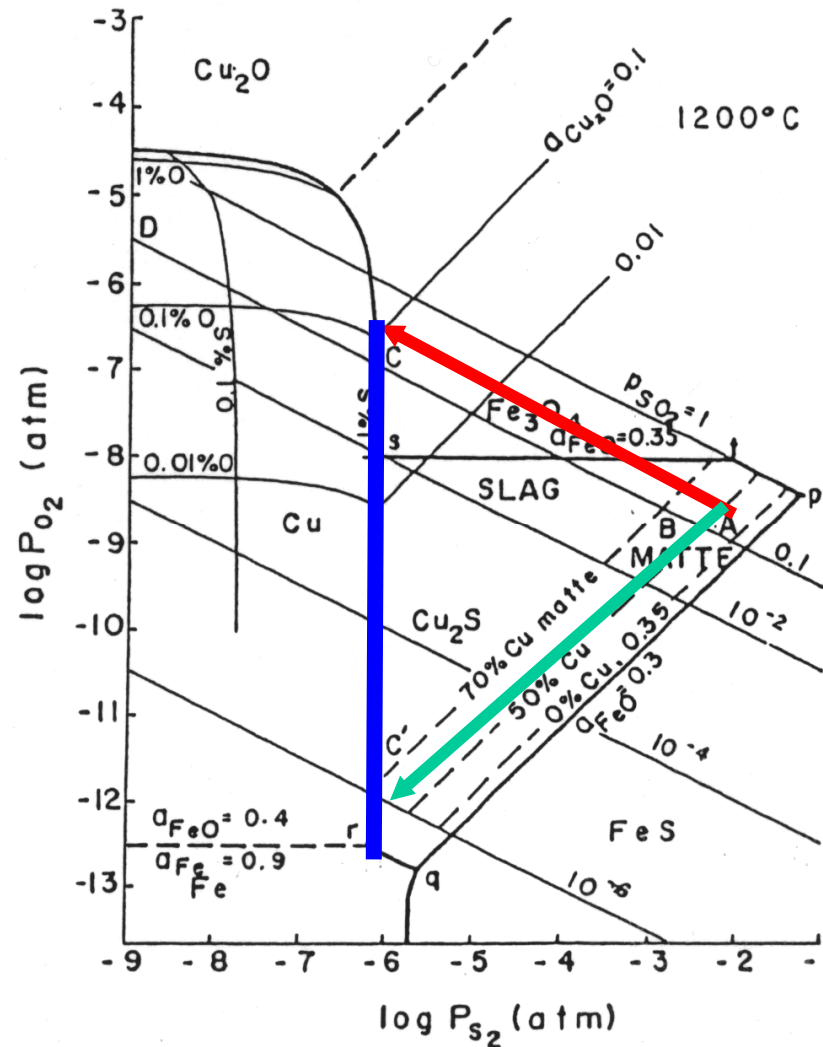


Diagrama de potencial oxígeno-azufre para el sistema Cu-Fe-S-O-SiO_2 a 1473 K

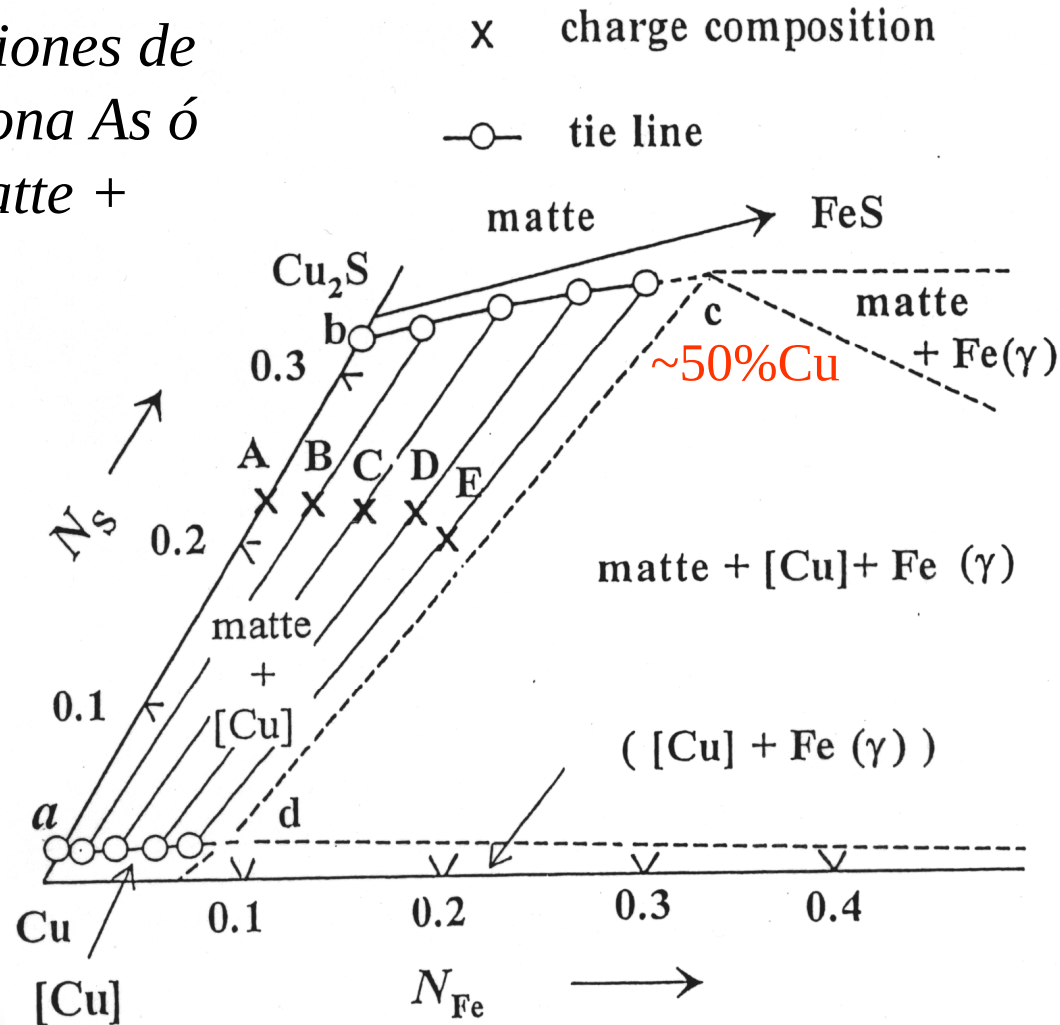



 Fusión de
 Oxidación

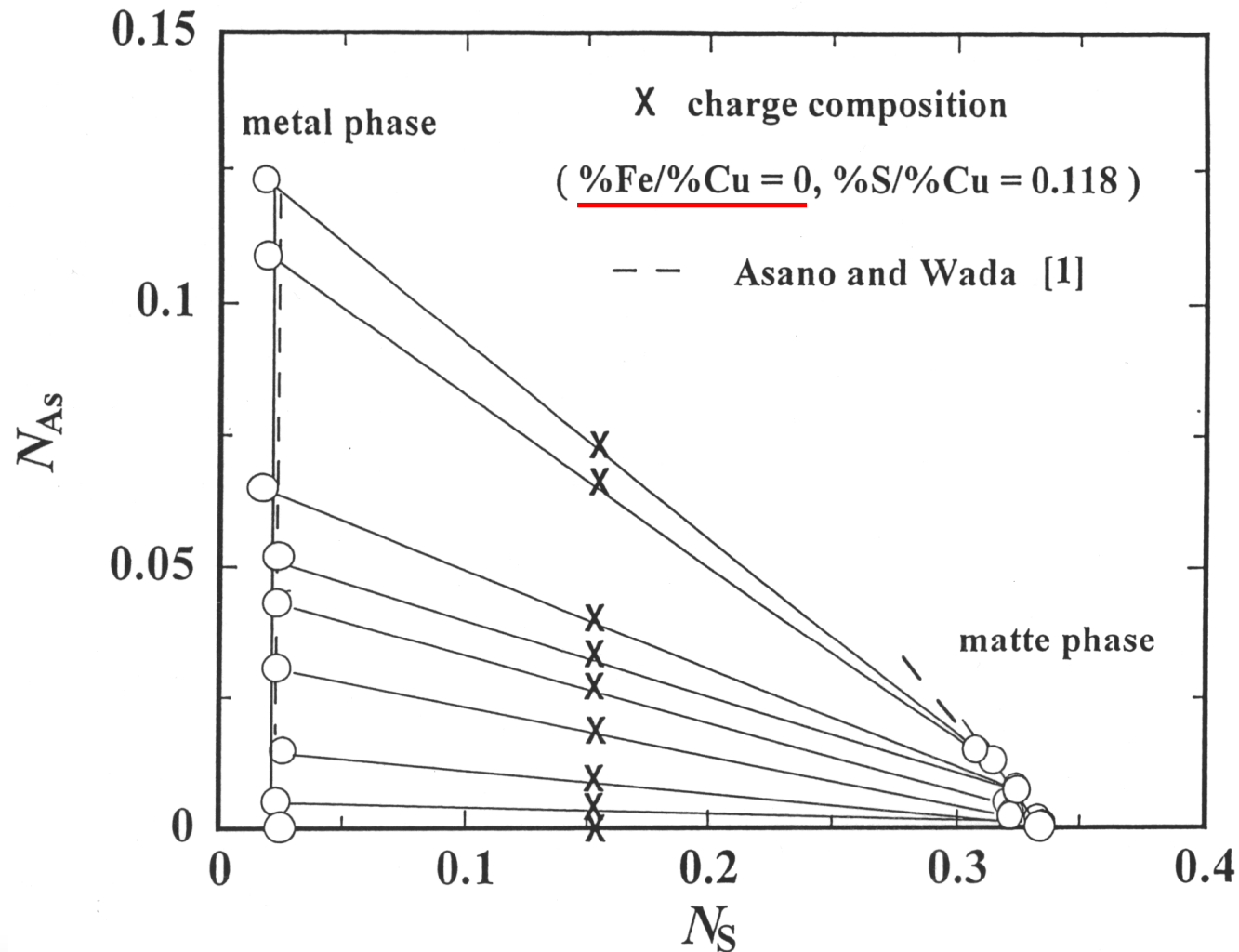

 Fusión de
 Reducción

Relaciones de fase entre la aleación de cobre y mata en la zona inmiscible del sistema Cu-Fe-S a 1473 K

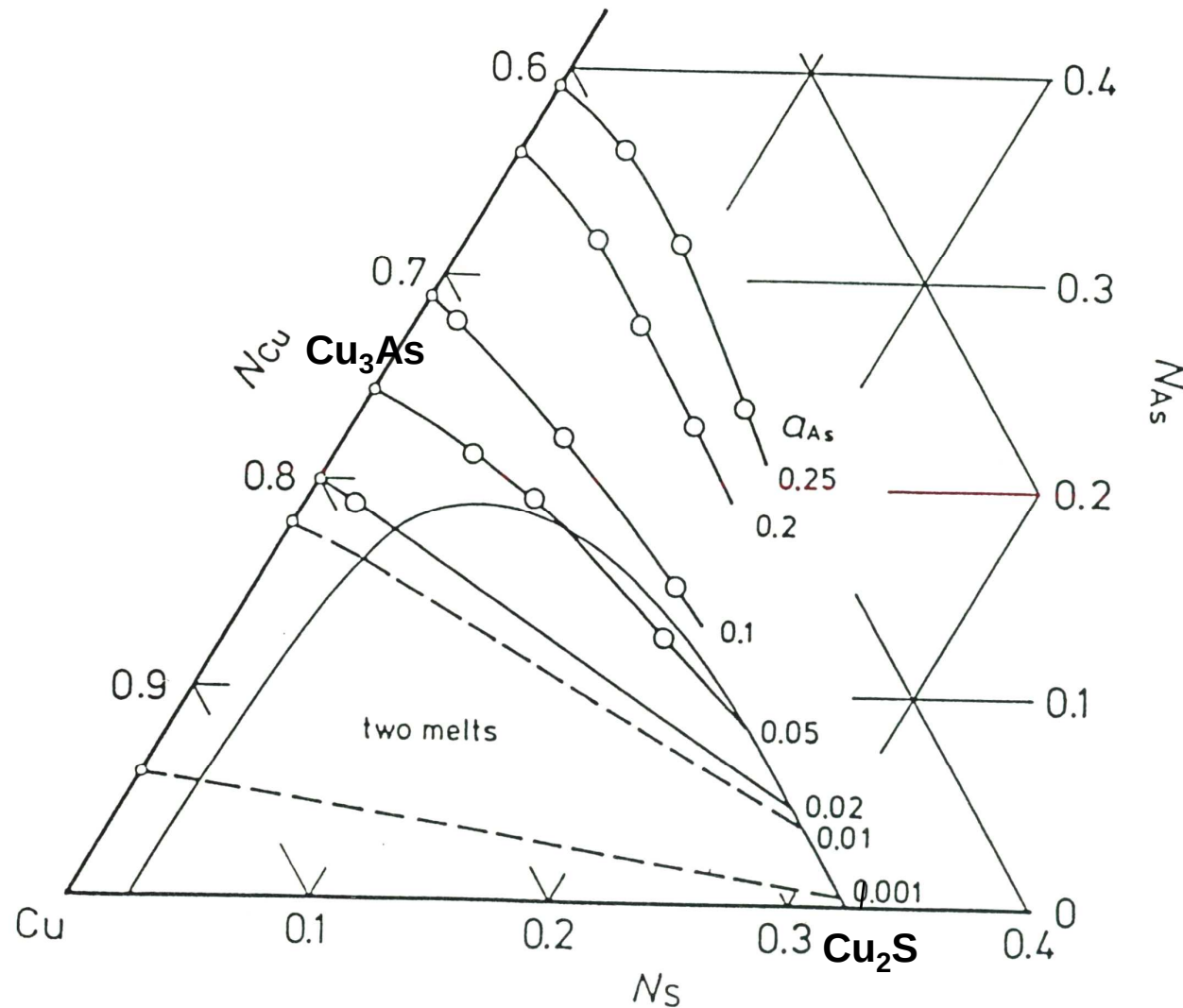
¿Cómo son las relaciones de
 fase cuando se adiciona As ó
 Sb a la región {matte +
 [Cu]}?



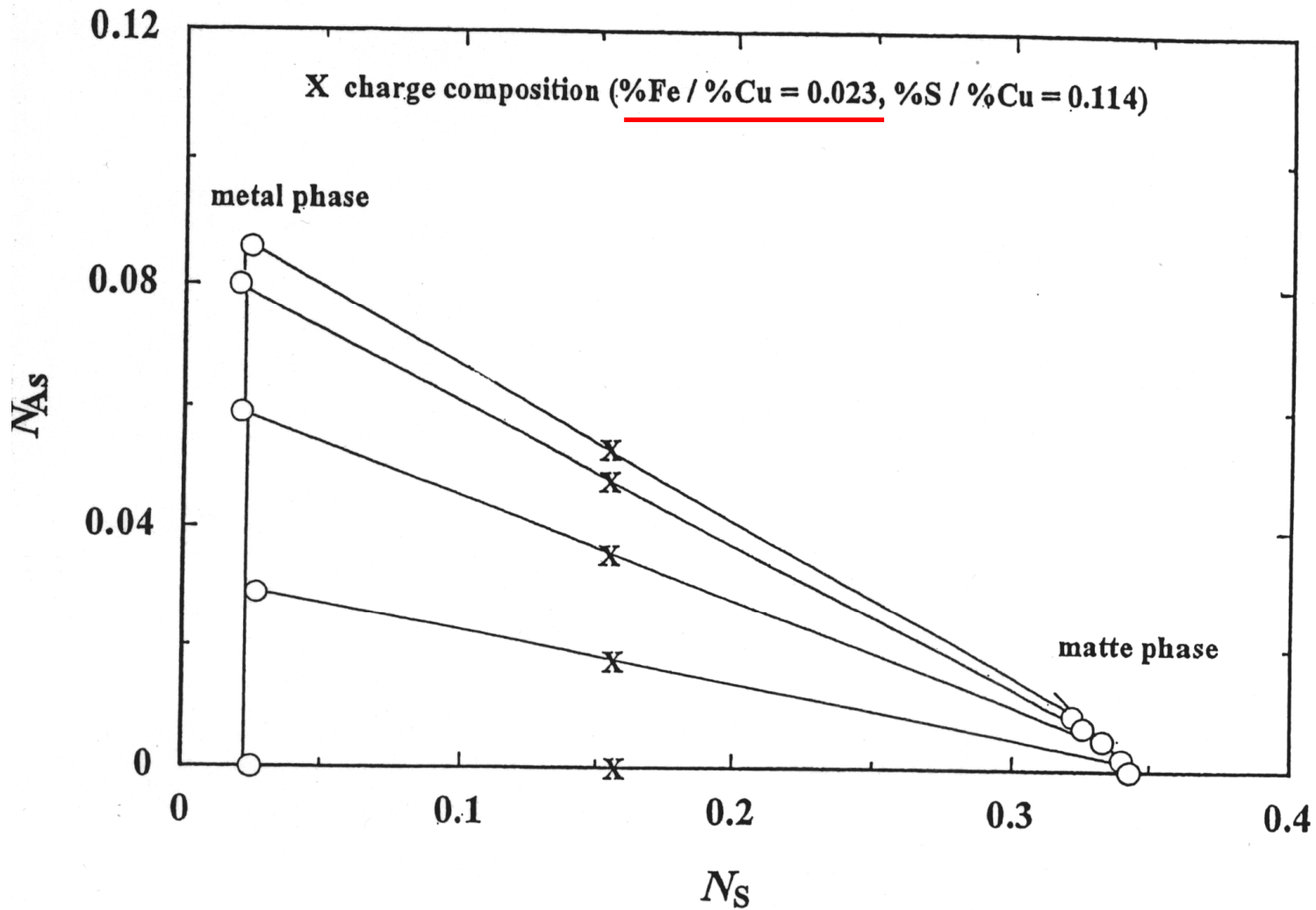
Relaciones de fase en el sistema ternario Cu-S-As a 1473 K



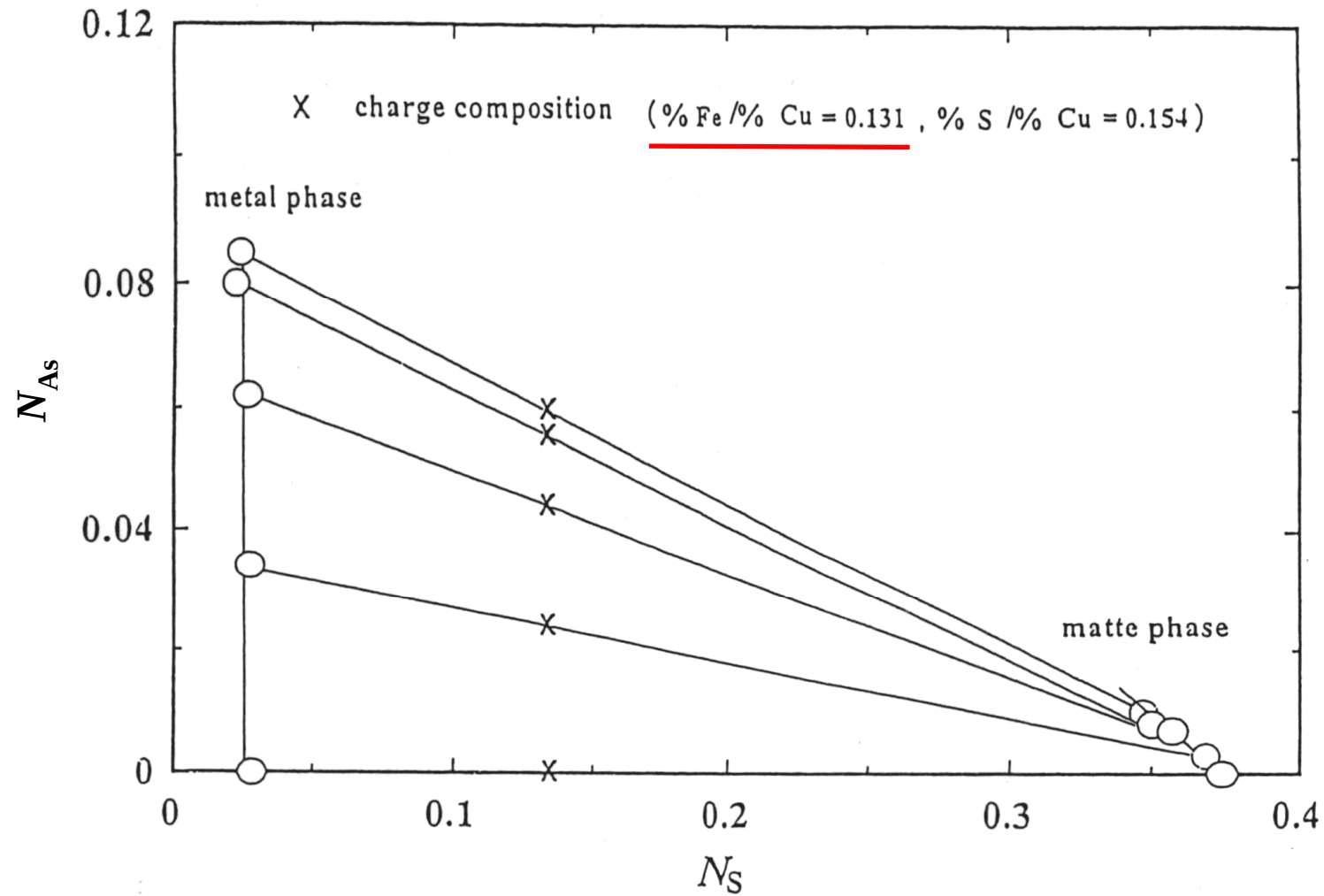
Relaciones de fase en el sistema ternario Cu-S-As a 1423 K (Hino et al.)



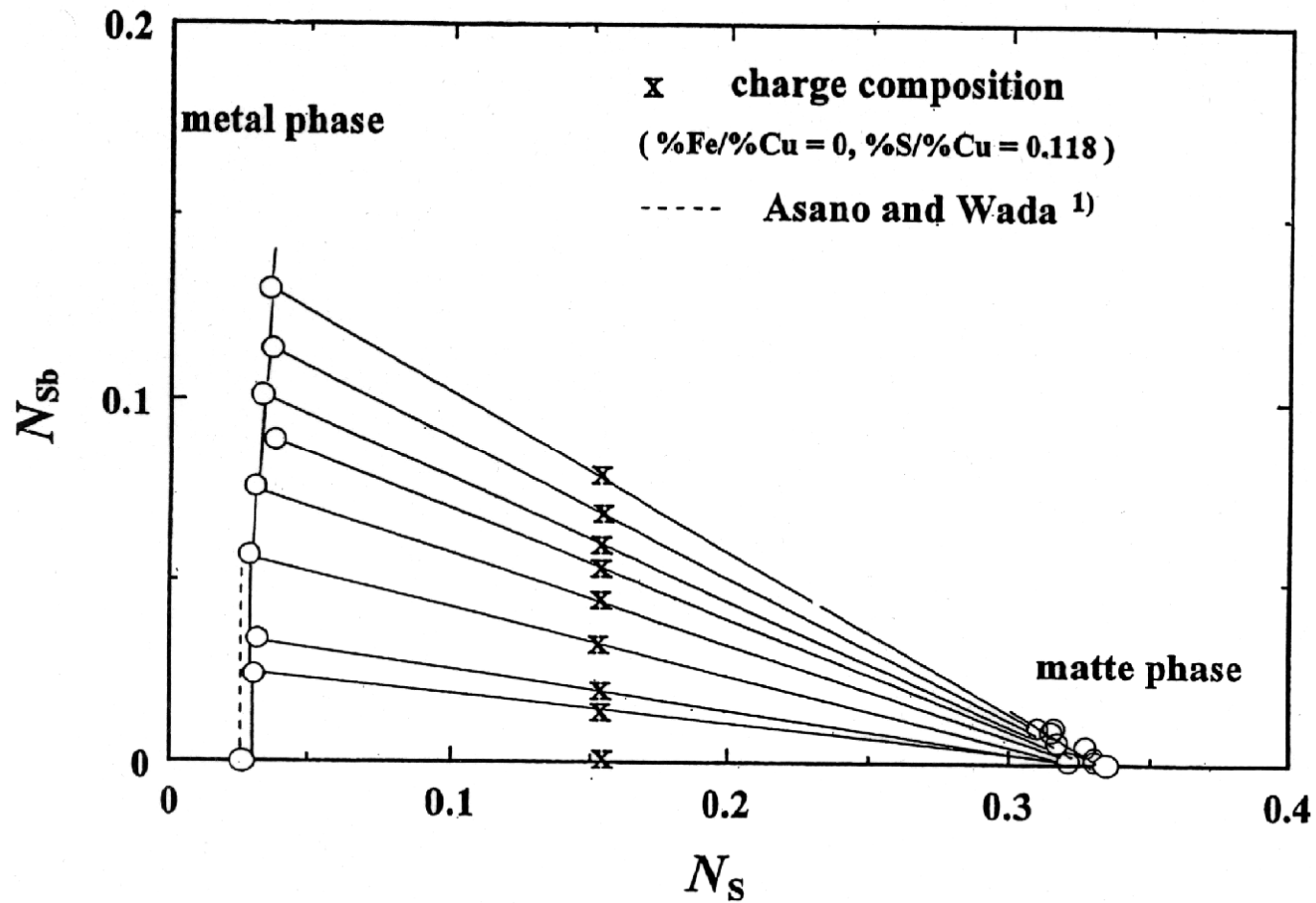
Relaciones de fase en el sistema cuaternario Cu-Fe-S-As a 1473 K



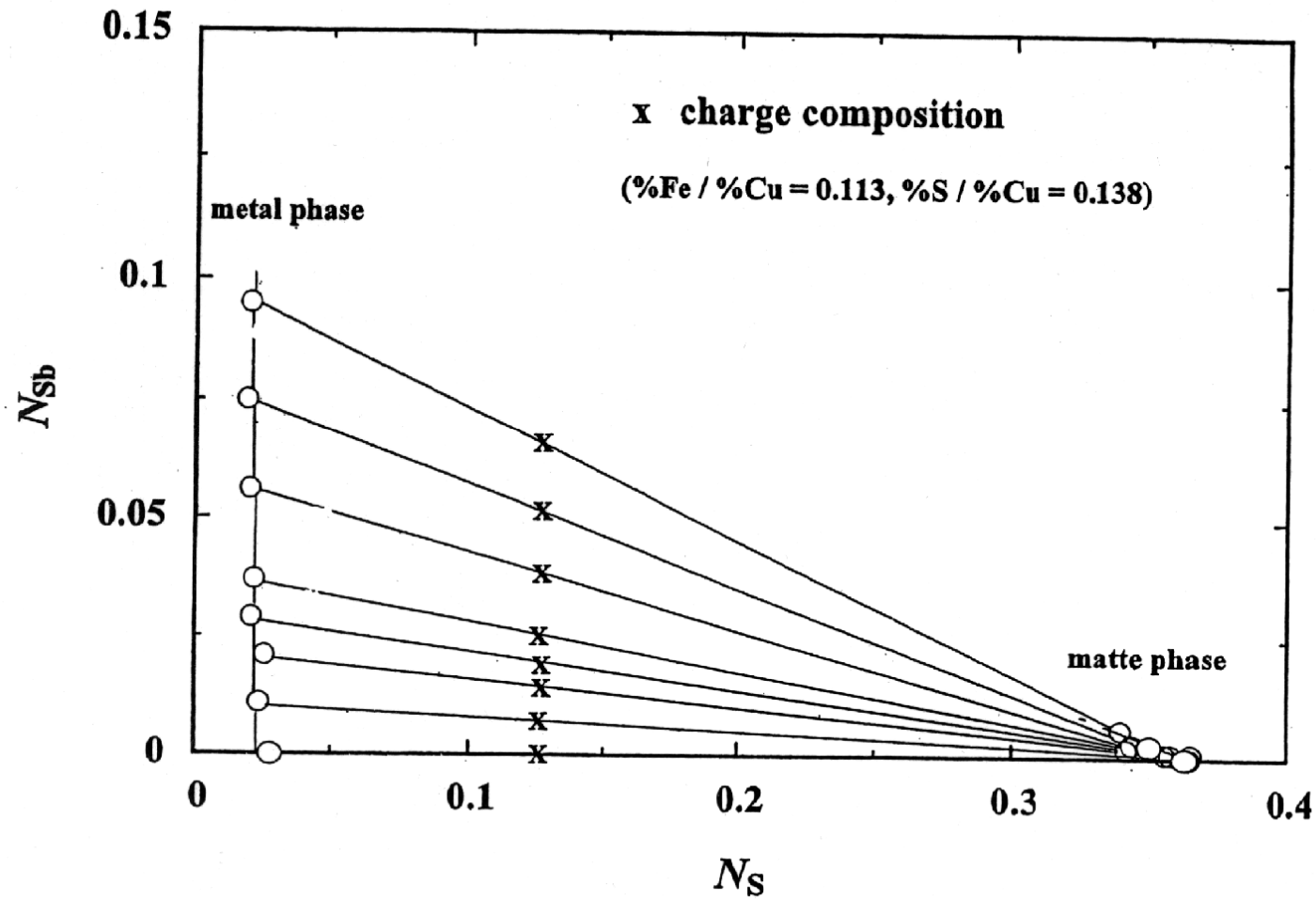
Relaciones de fase en el sistema cuaternario Cu-Fe-S-As a 1473 K



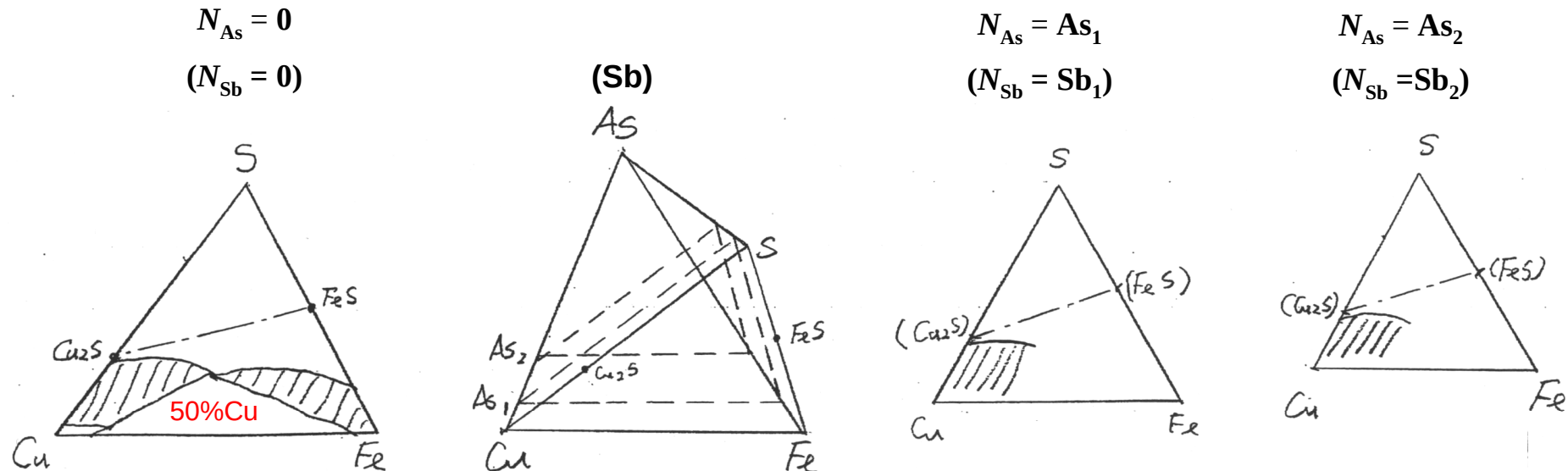
Relaciones de fase en el sistema ternario Cu-S-Sb a 1473 K



Relaciones de fase en el sistema cuaternario Cu-Fe-S-Sb a 1473 K



Diagramas tetrahédricos de composición y secciones transversales del sistema Cu-Fe-S-As a 1473 K



The composition line connecting Cu_2S and FeS never crosses the miscibility gap consisting of matte and alloy phases when the arsenic or antimony content in the matte phase on the composition line increases.

Diagrama ternario de fase del sistema Cu-Fe-S a 1473 K

¿Cómo son las relaciones de fase
 cuando se adiciona As ó Sb a la
 región $\{ [Cu] + \text{mata} + Fe(\gamma) \}$?

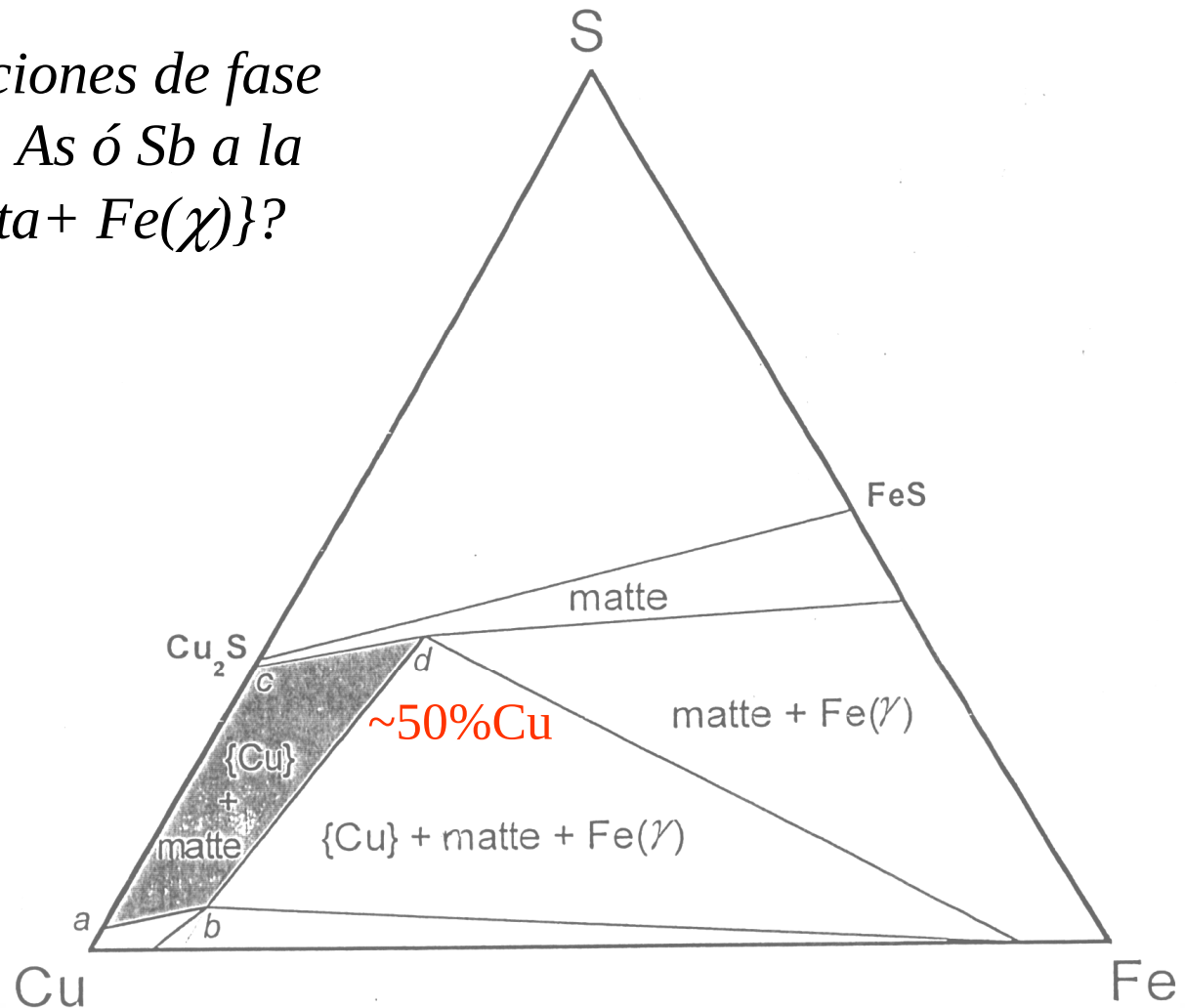
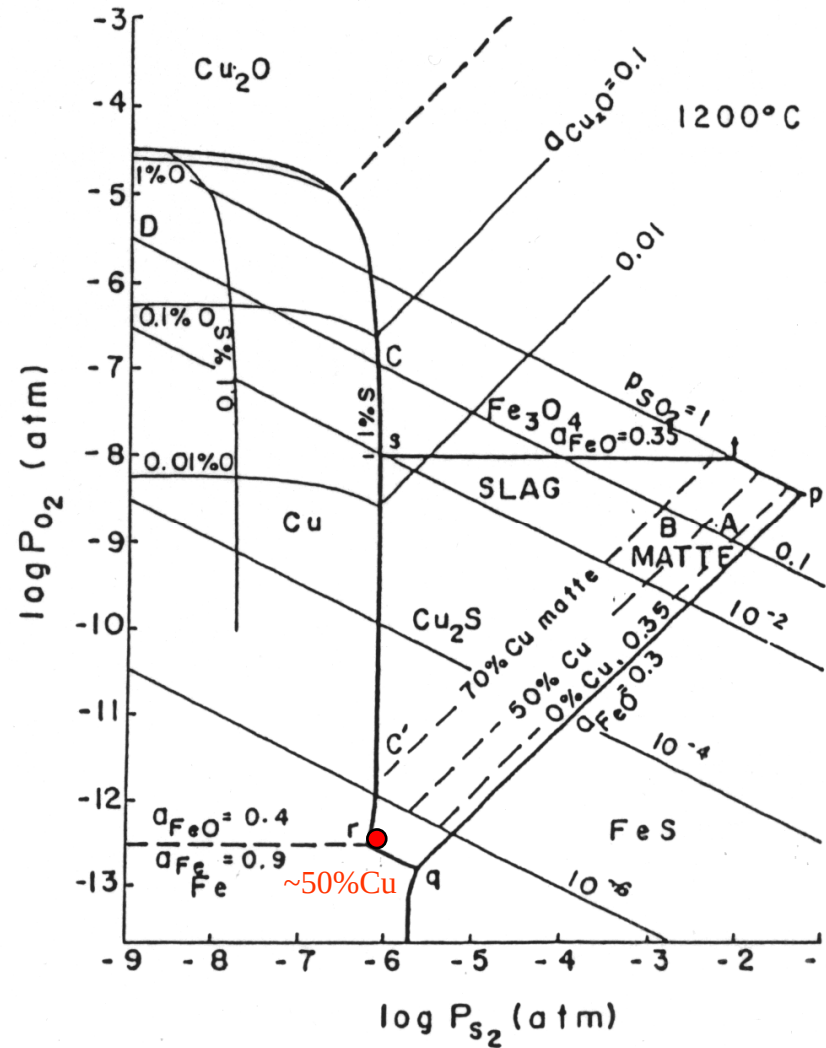


Diagrama de potencial oxígeno-azufre para el sistema Cu-Fe-S-O-SiO_2 a 1473 K



Relaciones de fase entre mata y speiss del sistema Cu-Fe-S-As a 1423 K

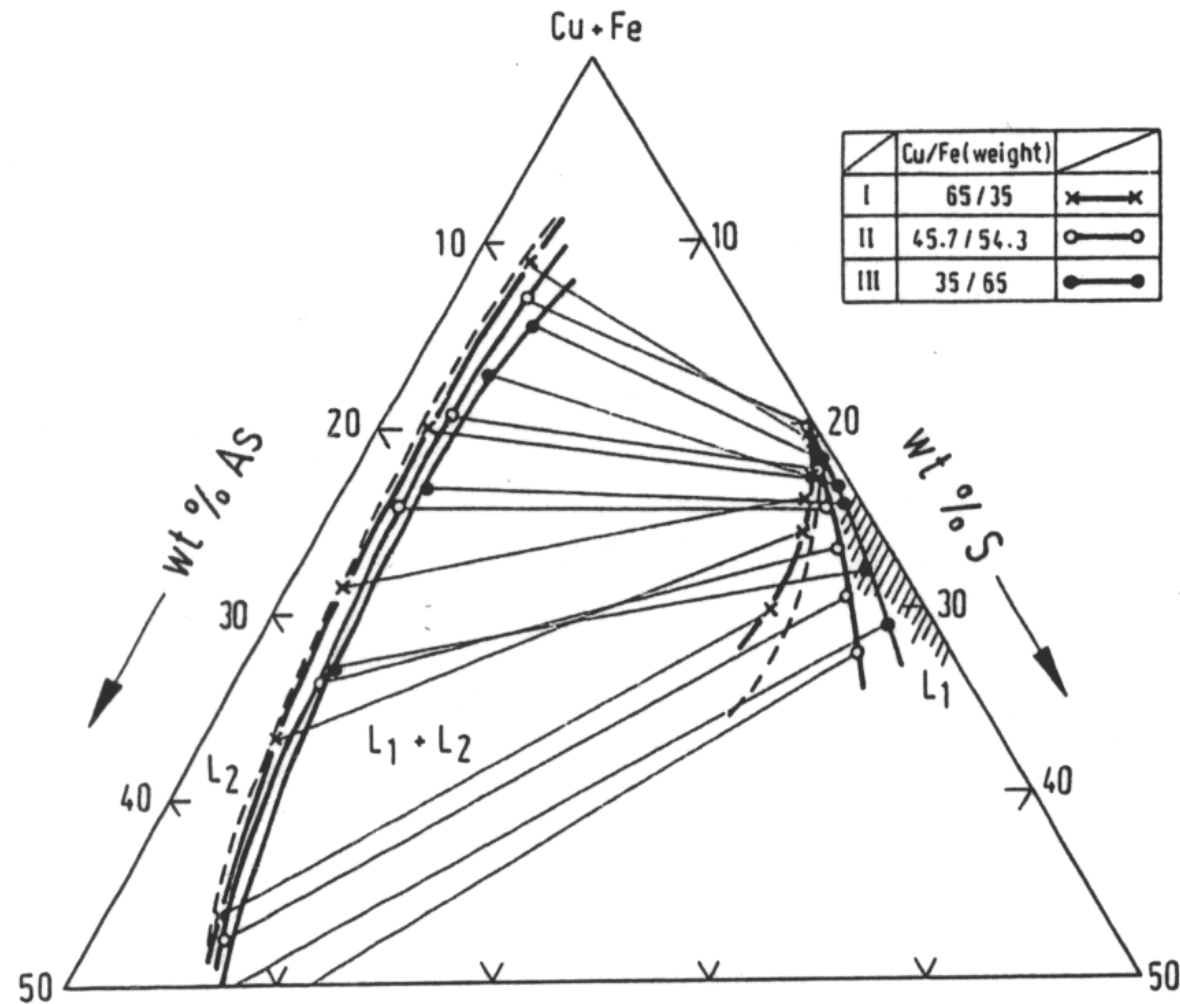


Diagrama ternario de fase del sistema Cu-Fe-S a 1473 K

¿Cómo son las relaciones de fase
 cuando se adiciona As ó Sb a la
 región {mata + Fe(χ)}?

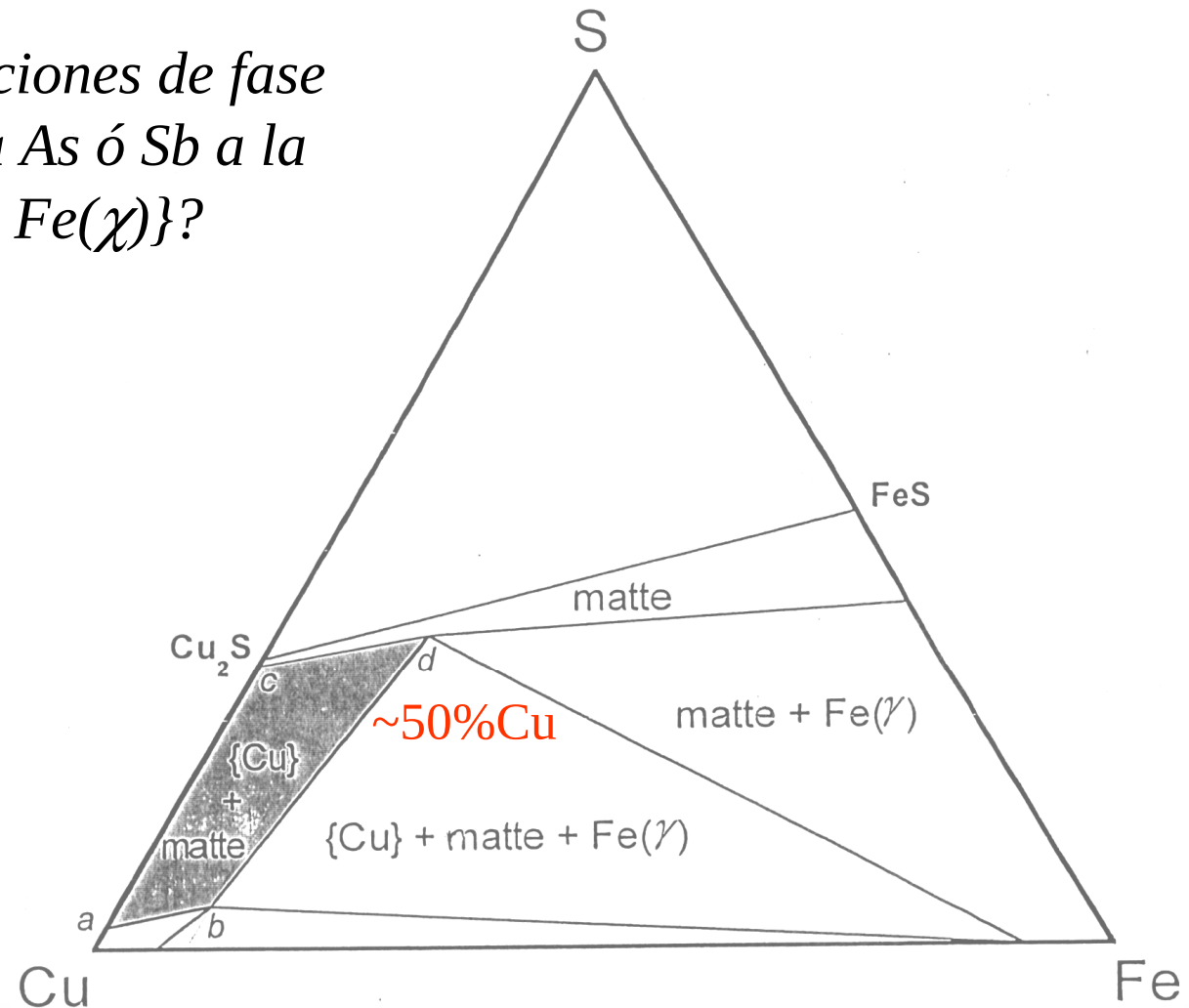
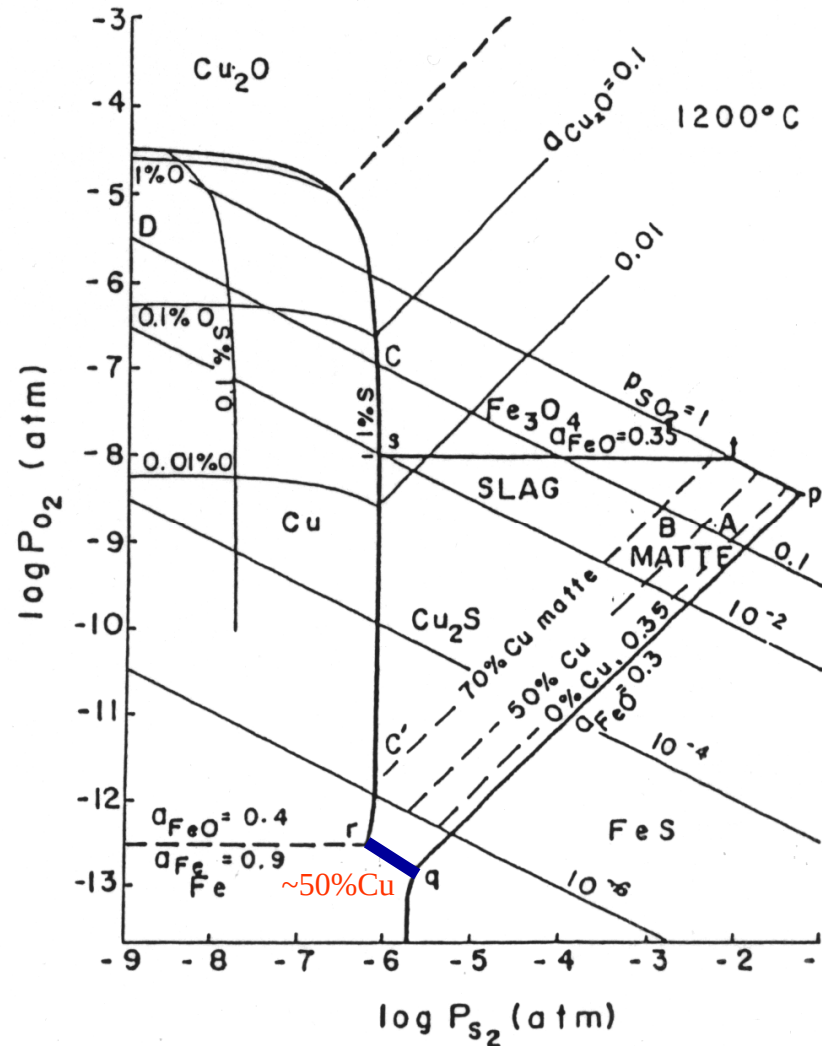


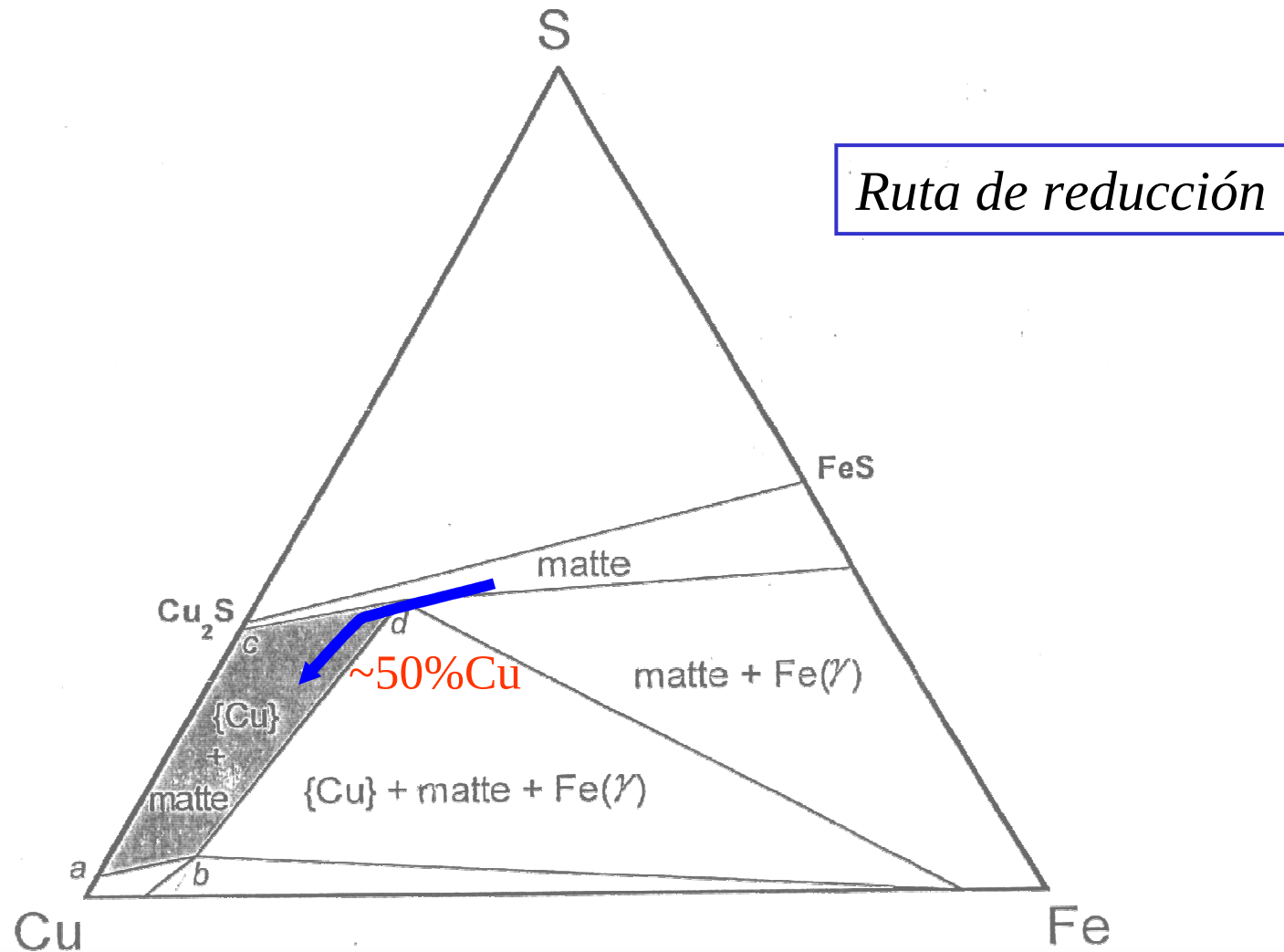
Diagrama de potencial oxígeno-azufre para el sistema Cu-Fe-S-O-SiO_2 a 1473 K



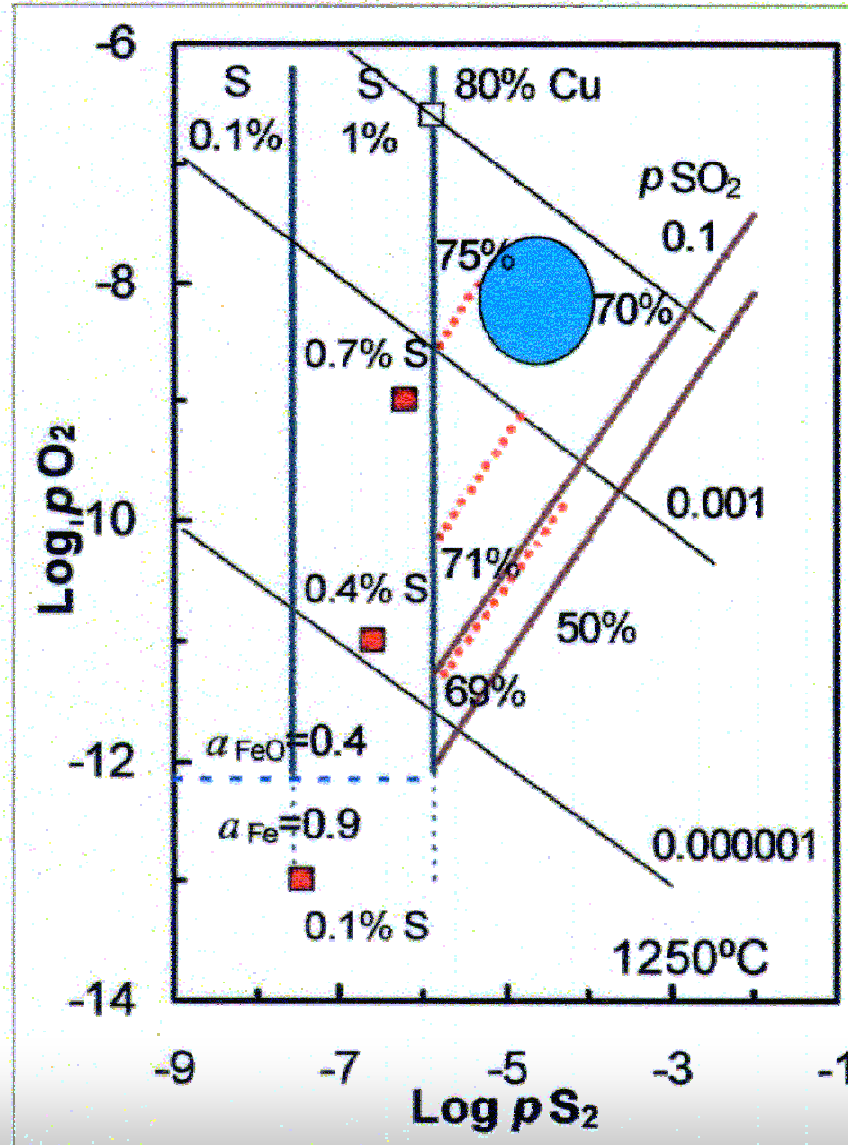
- ✓ *Las aleaciones base Cu-Fe con altos contenidos de arsénico y antimonio son conocidas como “SPEISS”, y sólo se forman bajo condiciones reductoras extremas.*
- ✓ *Los speiss, no podrán formarse en el horno eléctrico durante la limpieza de escorias en donde las P_{O_2} son del orden de 10^{-8} atm.*
- ✓ *Los speiss han de aparecer durante la operación de limpieza de escorias sólo en condiciones reductoras extremas, por ejemplo inyectando carbón o coque al sistema.*

- ✓ *Diagramas de fases de speiss de arsénico y antimonio*
- ✓ *Relaciones de fases en los sistemas cuaternarios Cu-Fe-S-As y Cu-Fe-S-Sb a 1473 K (fusión de cobre)*
- ✓ *Estudio experimental de la reducción de escoria/mata bajo atmósfera reductora*
- ✓ *Relaciones de fase y distribución de elementos menores en los sistemas Cu-Fe-As y Cu-Fe-Sb saturados con carbón a 1473 K y sus implicación en procesos metalúrgicos*
- ✓ *Relaciones de fase y distribución de elementos menores en los sistemas Cu-Fe-S-As y Cu-Fe-S-Sb saturados con carbón a 1473 K y sus implicación en procesos metalúrgicos*

Diagrama ternario de fase del sistema Cu-Fe-S a 1473 K



Experiment - Reduction of Slag/Matte under Strongly Reducing Condition



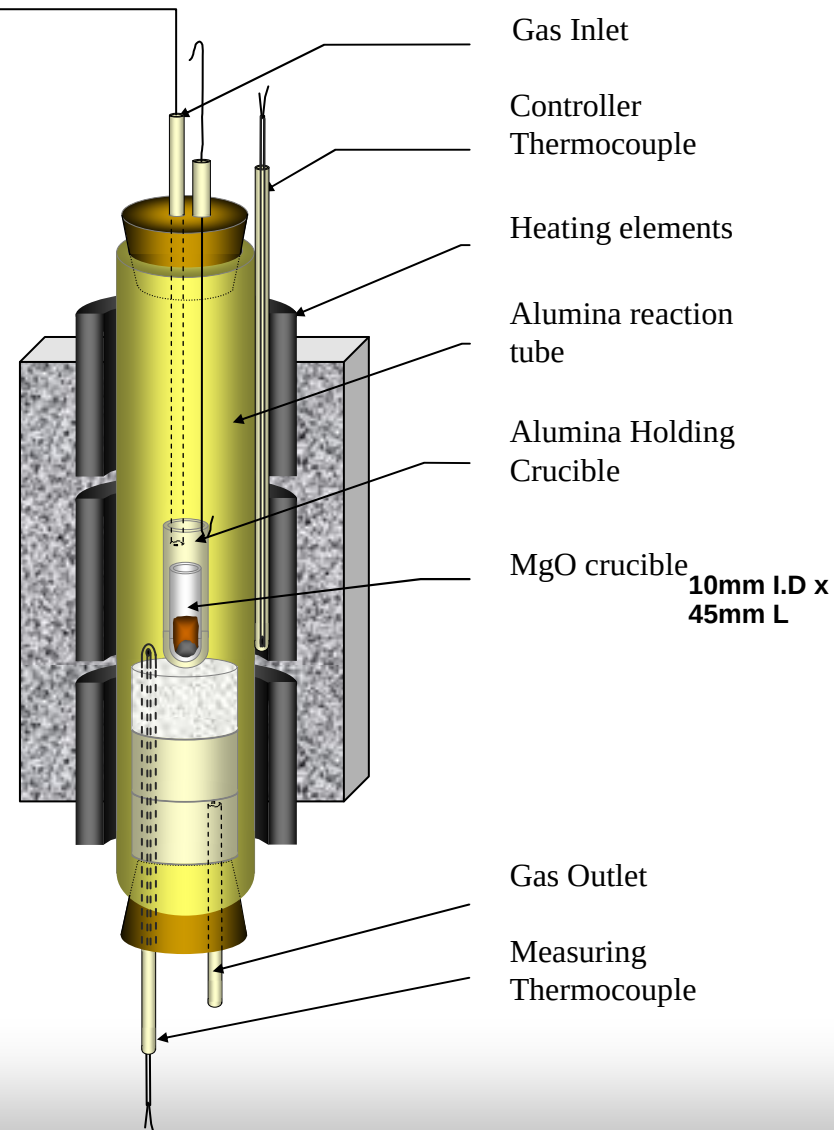
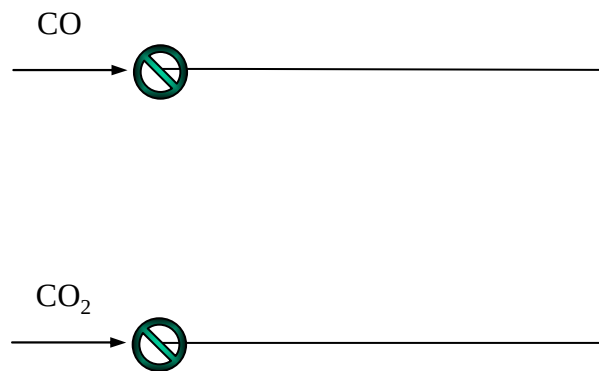
Chuquicamata Slag and
Matte Produced in
Electric Furnace
slag : matte = 7:3

Experiment - Reduction of Slag/Matte under Strongly Reducing Condition

1250°C

**$p_{O_2} : 10^{-9}, 10^{-11},$
 10^{-13} atm**

**200cc/min
24 hour**



3 g matte from electric furnace
 7g slag from electric furnace
 Cu₃As

Experiments - Distribution Ratio of Arsenic against Oxygen Partial Pressure

