

Empresa Minera de
MANTOS BLANCOS
Chile

Hoofdscriptie Mijntechnologie

M.J. Damoiseaux

Oktober 1982

tekst

Met welgemeende dank aan:

Prof. P. van Leeuwen, hoogleraar mijntechnologie TH Delft

Ir. B. Reynst, general manager Mantos Blancos

H. Carvajal

P. Barros

O. Gallardo

C. Becerra

A. Tobar

H. Correa

H. Colina

Molengraaff-fonds

en vele anderen

De oorspronkelijk door Prof. van Leeuwen opgestelde afstudeeropdracht, afgestemd op de kopermijn Mina Raul van Cia Minera Pattivilca, is niet uitgevoerd. Na aankomst in Lima-Peru bleek dat de mijnwerkers in staking waren gegaan. Aanvankelijk leefde bij mij en ook de directie van de mijn de hoop dat het arbeidsconflict spoedig opgelost zou worden, maar naarmate de tijd verstreek, bleek dat beide partijen zich steeds dieper in hun stellingen ingroeven.

Dankzij bemiddeling van Prof. van Leeuwen lukte het de stageplaats 2000 km naar het zuiden te verleggen, naar de kopermijn Mantos Blancos in Chile. De opdracht werd in overleg met de manager Ir. Reynst aangepast aan de specifieke omstandigheden en behoeften van deze mijn. De samenwerking met Ir. Reynst en zijn medewerkers was buitengewoon goed en leerzaam. Dit laatste met name doordat men juist intensief werkte aan het ontwerp van een geheel nieuwe ondergrondse mijn.

De eerste 3 hoofdstukken zijn beschrijvend en gaan over de geologie, mineralisatie en het huidige mijnbedrijf. Hoofdstuk 4 en 5 zijn het creatieve deel. Hier wordt de voorgenomen uitbreiding onder de loep genomen, in het bijzonder de reservebepaling en het transport in de overgangsjaren.

Dankzij de voortreffelijke samenwerking en openheid waarmee men de benodigde gegevens verschafte, is het mogelijk geworden dit werkstuk te voltooiën. Ook door bezoeken aan andere mijnen: Morrococha, Cerro de Pasco en Casapalca in het Peruaanse Andesgebergte, Chuquicamata in Chili en bovendien op het culturele gebied aan Cuzco, Machu Picchu en Nazca is het Zuid-Amerika avontuur een onvergetelijke belevenis geworden.

M.J. Damoiseaux

Juli 1982

Samenvatting

Na het vertrouwd raken met Geologie (H2) en het huidige mijnbedrijf (H3) wordt met de vergaarde kennis overgegaan tot een evaluatie van het nieuwe ertslichaam, de toekomstige ondergrondse uitbreiding van Mantos Blancos.

In dit hoofdstuk (H4) wordt eerst de exploratie en ertsreservebepaling belicht. Uit berekeningen van oxide- en sulfide paylimits van het nieuwe project en van de hele onderneming mag vervolgens geconcludeerd worden dat ten gevolge van de huidige, lage koperprijs de oxideverwerking een verliesgevende zaak is en dat terecht alle hoop gevestigd is op de sulfide-ertsverwerking.

Verder wordt in dit hoofdstuk een gehalte-tonnagerelatie van het nieuwe ertslichaam samengesteld, waarmee de sulfide cut-off grade wordt bepaald.

In hoofdstuk 5 wordt de exploitatie van de geplande mijn besproken.

Vier transportalternatieven worden met elkaar vergeleken waaruit blijkt dat vertikaal transport met een skipschacht dicht bij het ertslichaam, gevolgd door een horizontale bandtransporteur naar de verwerking het meest economisch is. Nader geologisch onderzoek is echter vereist om een verantwoorde keus te maken.

Tenslotte wordt de transportbehoefte voor de overgangsjaren '82 en '83 bepaald. Hieruit blijkt dat in 1983 de nu beschikbare transportcapaciteit onvoldoende is voor de geplande produktie.

7

*)

Inhoudsopgave

	blz
H 1 Inleiding	6
H 2 Geologie en Mineralisatie	8
H 3 Huidige exploitatie en ertsverwerking	15
H 4 Evaluatie van het ertslichaam	43
H 5 Toekomstige exploitatie Nora-Marina	63

*) De eerste bladzijde van de hoofdstukken geeft een gedetailleerde inhoudsopgave.

Aanvullingen

Bladzijde 17 en 36 Open pit 58,5 ton gesteente per boormeter.

Dit gegeven is afgeleid uit de statistieken van Mantos Blancos.
In 1981 werd in de open pit 170.838 m geboord en 9995.394 ton
gesteente geschoten \Rightarrow 58,5 ton/m perforatie.

Bladzijde 33 en 37 In 1980 was het gemiddelde tonnage per m vooruitgang
in de voorbereiding-ontsluiting 66,17 ton.

Op bladzijde 33 staat 57,7 ton/m. Deze waarde geldt voor de eerste
vier maanden van 1982. In deze maanden worden meer kleinere gale-
rijen en opbraken gedreven.

Bladzijde 34 Produktie mineraal: Niet al het erts gaat naar de
plants. Een gedeelte, voornamelijk erts met lager gehalte wordt
opgeslagen.

Geladen tonnage: Ook vanuit de opslag wordt erts naar de plants
vervoerd. Dit veroorzaakt het verschil tussen O.P extractie en
totaal geladen hoeveelheid.

Bladzijde 53 Bij deze berekening wordt geen rekening gehouden
met inflatie. Koperprijs en produktiekosten worden constant ver-
ondersteld.

1. Inleiding

De Empresa Minera de Mantos Blancos exploiteert de kopermijn en smelterij Mantos Blancos, gelegen in de Chileense Atacama-woestijn, 45 km ten Noord-oosten van de stad Antofagasta, op korte afstand van de autoweg Antofagasta-Calama en de spoorweg Antofagasta-Bolivia. Deze maatschappij behoort tot de Hochschild-groep en Anglo-American in participatie met andere minderheden.

De exploitatie begon in 1961, voorafgegaan door een achtjarige periode van exploratie, metallurgisch onderzoek, ingenieurswerken en constructie. Tot en met 1981 heeft men ruim 42 miljoen ton oxidisch erts verwerkt tot 570.000 ton zuiver koper in de vorm van staven en poeder. Sulfidische ertsen, die aanvankelijk haast onbekend waren in het complex van ertslichamen, worden sinds 1981 in een nieuwe flotatieplant verrijkt tot concentraat. Bij de Empresa zijn tegenwoordig 2000 mensen werkzaam.

1.1. Geschiedenis van de oxide-exploitatie

Het Mantos Blancos deposit werd al in 1912 ontdekt. Vele pogingen om het hoogwaardige, nabij de oppervlakte gelegen, oxide-erts succesvol te exploiteren faalden vanwege het hoge chloridegehalte dat varieert tussen 0,4 en 1,5% Cl. De toentertijd bekende metallurgische processen voor oxide-erts, voornamelijk loging gevolgd door elektrolyse, waren niet geschikt voor dit erts. Het hoge chloridegehalte leent zich wel voor een proces van precipitatie van het koper als koperchloride. Dit proces werd voor het eerst op economische schaal in Mantos Blancos toegepast.

In 1952 begon Mauricio Hochschild & Co met exploratie door middel van Churndrilling en de ontwikkeling van het metallurgisch proces op laboratoriumschaal. Een pilotplant met een capaciteit van 5 ton per dag werd in 1955 in Antofagasta gebouwd. Medio 1958 werd deze plant gesloten na zo'n 2000 ton Mantos Blancos-erts verwerkt te hebben. Exploratie en ontwerpactiviteiten werden ook medio 1958 voltooid. Meer dan 11 miljoen ton met 1,9% Cu was aangetoond en er bestond een gegrond vermoeden van de aanwezigheid van nog een paar miljoen ton erts.

De constructie van de plant begon in 1959 en werd in November 1960 voltooid. Het hele metallurgische complex, van breken tot smelten en gieten vergde een investering van 10 miljoen \$. Het ontwerp van de plant werd uitgevoerd door het designing department van Mauricio Hochschild & Co.

De eerste koperstaven werden in December 1960 gegoten en in Februari 1961 bedroeg de produktie al 50% van de totale capaciteit. In September 1961 bereikte men de volledige capaciteit van 1650 ton geraffineerd koper met een doorzet van 100.000 ton erts per maand, minder dan 3 jaar na het begin van de constructie.

Aanvankelijk werd alleen erts gewonnen uit het grootste van een aantal bekende ertslichamen, genaamd Quinta-Tercera. Om ook andere laagwaardigere ertslichamen te kunnen exploiteren, terwijl de koperproduktie constant bleef, werd al in een vroeg stadium besloten de capaciteit van mijn en plant te verhogen.

Deze uitbreiding tot een doorzet van 200.000 ton/maand werd eind 1967 voltooid. Door kleine verbeteringen werd de capaciteit geleidelijk verhoogd tot 250.000 ton, de huidige capaciteit, die in 1978 werd bereikt.

Tot 1975 werd alleen erts uit Open Pits gewonnen. Evenwel tot op dit moment heeft men ongeveer $8\frac{1}{2}$ miljoen ton oxide met een gemiddeld gehalte van 1,44% Cu Sol (Soluble = Oplosbaar oxide) ontdekt op grotere diepte, waarvan de exploitatie in dagbouw niet uitvoerbaar was vanwege de hoge stripping ratio. Met het doel, het leven van de mijn te verlengen, de exploitable reserves te vergroten en het kopergehalte te handhaven, werd in Januari 1975 gestart met de werkzaamheden voor de ontwikkeling van de ondergrondse mijnen, hetwelk parallel geschiedt met de dagbouwoperaties. De ondergrondse produktie vertegenwoordigt nu ruim 40% van de toevoer naar de plant.

Van 1968 tot 1977 werd per jaar gemiddeld 31.000 ton Cu uit oxide-erts geproduceerd. Vanaf 1978 ruim 34.000 ton per jaar. In de grafieken op blz 1 zijn de produktiecijfers, het gehalte Cu Soluble en het tonnage-erts weergegeven.

1.2. Sulfide-exploitatie: de toekomst

Sulfide-erts is pas de laatste jaren in ruimere mate aangetroffen. In 1978 en 1979 ontdekte men 10 miljoen ton Sulfide-erts (waarvan 7 miljoen proven), voornamelijk chalcosien-borniet-, covellien mineralisatie in de diepere delen van de open pits en de ondergrondse werken.

Naar aanleiding van deze vondsten werd besloten ook sulfide-erts in de toekomst te gaan verwerken in een nieuwe flotatieplant met een capaciteit van 1 miljoen ton per jaar. In 1981 werd deze plant in gebruik genomen. Op 1 Januari 1981 bedroeg de sulfidereserve 12,6 miljoen ton en al tijdens de constructie van de plant werd de capaciteit verhoogd tot 1,3 miljoen ton/jaar.

In 1981 werd op grote schaal verder geëxploreerd en verdubbelde de reserve tot 27 miljoen ton. Het grootste deel hier is hoogwaardig erts in een gebied tussen de mijnen Nora en Marina tot een diepte van 300 meter.

Eind 1981 werd een feasibilitystudie uitgevoerd en besloten een nieuwe mijn Nora-Marina met een nieuw transportsysteem op te zetten en de capaciteit van de sulfideplant te verhogen tot 2,7 miljoen ton per jaar. Medio 1984 zal de uitbreiding voltooid zijn. Investeringskosten: 45 miljoen \$.

Na 1985 wordt alleen nog ondergronds erts gewonnen en het laatste oxide-erts wordt in 1988 gewonnen. Na dat jaar verwerkt de plant alleen nog oxide-erts, met het voor deze mijn lage gehalte van 0,78% Cu, afkomstig van de door de jaren heen opgebouwde stockpiles van marginaal erts.

Het nieuwe expansieproject heeft een levensduur van 10 jaar. Na 1991 zal Mantos Blancos nog lang niet uitgeput zijn. Er zijn nog een aantal sectoren van de concessie nauwelijks geëxploreerd en de verwachting bestaat dat daar nog aanzienlijke hoeveelheden sulfide-erts gevonden zullen worden.

Hoofdstuk 2 Geologie en Mineralisatie

	blz
2.1. Regionale Geologie	9
2.2. Geologie Mantos Blancos	9
2.3. Petrografie Nora-Marina- en Sorpresa gebied	10
2.4. Mineralisatie	12
2.5. Regulariteit en geometrie van de verertsing	13
2.6. Genetisch model	13

1.1. Regionale Geologie (zie fig 2)

Het Mantos Blancos district behoort geologisch gezien tot de continentale vulkanische formatie Augusta Victoria uit het Boven-Krijt. Deze formatie heeft zich discordant afgezet op de gedeeltelijk vulkanisch andesietische- en gedeeltelijk submariene formatie La Negra en de mariene lagen van Rencoret, beide van Onder-Juras leeftijd. Deze Jurassische formaties rusten op hun beurt weer discordant op paleozoïsche (Siluur tot Carboon) metamorfe gesteenten en granietintrusies. Men vermoedt, dat de paleozoïsche intrusie een drempel vormde tussen vulkanische activiteit in het westen en submariene sedimentatie in het oosten. De formatie La Negra, in de buurt van deze drempel, bestaat uit mariene lagen met fossielen en intercalaties van vulkanisch gesteente. De vulkanische activiteit verplaatste zich naar het oosten en vormde eerst de tegenwoordige Coast Range (een pakket tot 10 km dikte) in het Onder-Juras, vervolgens tijdens het Midden- en Boven-krijt Augusta Victoria met Mantos Blancos. Tijdens het Tertiair werd het Andesgebergte (de Cordillera) gevormd.

1.2. Geologie Mantos Blancos (zie kaart blz 3)

Het ertsvoorkomen van Mantos Blancos strekt zich in oost-westelijke richting uit over een afstand van 2,5 km met een breedte van 750 m. Het gesteente bestaat voornamelijk uit de volgende drie typen vulkanisch uitvloeiingsgesteente, van boven naar beneden:

1. Breccieus uitvloeiingsgesteente van andesietische samenstelling.
2. Breccieus uitvloeiingsgesteente bestaande uit porfierische daciet.
3. Uitvloeiingsgesteente van daciet met kwartsogen.

Voor een uitvoerigere beschrijving zie petrografie Nora-Marina-Sorpresa.

Deze lagen hellen in het mijngebied 10 tot 20 graden naar het zuidwesten. In de dieper gelegen zones van Mantos Blancos ontmoet men diorietische intrusiva in de vorm van sills en dikes, die vermoedelijk in verband staan met een intrusief lichaam van krijt-tertiair leeftijd, dat in het noordoosten aan de oppervlakte komt. Het gesteentepakket wordt daarnaast ook doorsneden door een aantal mafische, meestal postgenetische dikes en andesietische lopolieten.

Grote subvertikale verschuivingen in noord tot noordwestelijke richting scheiden het ertsvoorkomen in een viertal blokken. De verplaatsing langs deze verschuivingen is moeilijk te bepalen door een gebrek aan gidslagen. In bepaalde gedeelten van Mantos Blancos vindt men enkele dunne vulkanische zandsteenlagen. Deze storingen doorsnijden de verertsing en veroorzaken abrupte verandering van mineralisatie. Verplaatsingen van enkele honderden meters treden op in de strekkingsrichting van de breuk.

Het Mantos Blancos district is op grote schaal gealbietiseerd en gesilicificeerd, waardoor het gesteente extreem hard, abrasief en competent is.

5. Petrografie Nora-Marina en Sorpresa gebied O-W vert. sectie 9750 N Blz 4

Upper Andesite A : Porfierisch violet-paars andesiet, plaatselijk rijk aan (sub)ronde equidimensionale kwartskorrels. Bevat hier en daar vesiculaire structuur, onregelmatige mm-grote blaasjes gevuld met silica. Plaatselijk breccie van hoekige of afgeronde mm-cm grote klastisch porfierische andesiet. In de 912 m-verdieping van Sorpresa heeft men een dunne tussengevoegde laag van grof- tot fijnkorrelig andesietisch zand waargenomen. Fijnkorrelig speculariet is schaars tot algemeen aanwezig, behalve daar waar het gesteente uitgeloozd is. In dat geval kan limoniet voorkomen. Dikte varieert van 0 tot enkele tientallen meters. Onderscheid met dacietporfier door minder langgerekte plagioklaasfenokristen en bijna afwezigheid van agglomeraties van veldspaatfenokristen.

Dacite Breccia] : Samengesteld uit (sub)hoekige, equidimensionaal tot in mindere mate plaatvormige (mm's-20 cm groot) klastische dacietporfier in een fijnkorrelige homogene matrix. Klastische component kan ronde tot subronde kwartskorrels bevatten met diameter kleiner dan 1 mm. Er is geen regelmatige grootte-verdeling of rangschikking in deze laag: de klastische componenten lijken chaotisch verstrooid. De matrix is samengesteld uit fijnkorrelig albiet en kwarts met sporen van zirkoon, titaniet en apatiet. Mafische mineralen in de "clasts" zijn zeer zeldzaam. Kan lokaal geringe tot rijke hoeveelheid sulfide mineralisatie (py, cpy, bo, cc) en speculariet (nabij de oppervlakte en/of in oxideertszone) bevatten. In de meeste gevallen bevatten de "clasts" meer mineralisatie dan de matrix. Er zijn ook pyrietaders waargenomen, die door clast-matrix contacten lopen. "Alteration" effecten (verkleuring door hematiet en limoniet) vervagen de textuur en bemoeilijken soms herkenbaarheid van dit gesteente, voornamelijk het onderscheid met dacietporfier, waaruit daciet breccie waarschijnlijk ontstaan is. Bovendien bevat de dacietbreccie nabij de basis ook dacietporfier. Deze laag kan tot 200 m dik zijn in het Marina-gebied.

Dacite Porphyry] : Albiet-plagioklaas fenokristen kleiner dan 3 mm lengte in een zeer fijnkorrelige matrix van microscopisch kleine albiet- en kwartskristallen. Heldere kwartskorrels kleiner dan 1 mm zijn willekeurig verstrooid door dit gesteente. Kan plaatselijk mm-grote, onregelmatige holtes bevatten met kristallen van kwarts, calciet of gips, in deze volgorde. Gesteentekleur zeer variabel, van violet-paars tot roze-rood en grijs-wit, het gevolg van variërende hoeveelheden hematiet en/of limoniet. Kan geringe tot rijke hoeveelheid sulfide mineralisatie en hematiet bevatten. Plagioklaas komt voor in tot 3 mm-grote fenokristen, in agglomeraties tot 8 mm in diameter. De dikte varieert van enkele meters tot enkele tientallen meters. Contact met dacietbreccie varieert van scherp tot niet onderscheidbaar. Contact met onderliggende kwartsdacietporfier scherp tot vaag.

Sandstone Unit: Dagzomen in Sorpresa, verdiepingen 864, 852 en 830 als dungelaagde, grof tot fijnkorrelig, plaatselijk kwartsrijk, plaatselijk gelaagd (zowel normale- als omgekeerde gelaagdheid), vulkanisch-klastisch zandsteenconglomeraat. Bevat (sub)hoekige roodgetinte, afanitisch tot porfierische daciet "clasts", kleiner dan 5 mm. Clasts zijn zelden langgerekt of plaatvormig. Matrix is rijk aan silica en plaatselijk sericiet-chloriet. Dikte varieert van 0 tot 4 m. Grote helling ter plaatse van de ontsluitingen: 45-65 graden ZW. In het algemeen echter helt het contact tussen dacietbreccie en kwarts-dacietporfier, waar deze zandlaag voorkomt, tussen 10 en 20 graden naar het Zuidwesten.

Lower Andesite (Sorpresa): Bevat euhedrisch (idiomorf) tot subhedrisch (allotriomorf) albietplagioklaas fenokristen kleiner dan 3 mm in lengte. Plaatselijk enkele ronde kwartskorrels kleiner dan 1 mm. Hier en daar vesiculair met onregelmatige tot ovale blaasjes met silica en/of sulfide (pyrite). Komt voor in lagere delen van het Sorpresa-West mijngebied. Over vorm en uitgestrektheid is weinig bekend.

Diorite : Porfierisch tot bijna afanietische andesiet met gewoonlijk vesiculaire structuur. Bevat langgerekte, vaak euhedrische albietplagioklaas fenokristen, lengte over het algemeen kleiner dan 3 mm. Af en toe ook kleine ronde kwartskorrels aanwezig. Blaasjes tot 7 mm in diameter met kwarts, calciet, chloriet (algemeen magnesium, alhoewel ook ijzerchloriet voorkomt) en sulfides (py, cpy, bo, cc, cov). Grondmassa gewoonlijk donkergroen (gechlorietiseerd), bestaande uit zeer kleine idiomorfe, langwerpige plagioklaaskristallen kleiner dan 0,4 mm en microkristallijne kwarts. Onregelmatig, maar duidelijk contact met omringend gesteente. Komt voor als sills en dikes met eigen mineralisatie, verschillend van het omringende daciet en andesiet (contacten vertonen duidelijke verandering in verertsing). Dikte varieert van enkele meters in dikes (en sills?) tot minimaal tientallen meters in sills. Herkenbaar aan de plagioklaasfenokristen in de matrix. Daciet heeft kortere, meer onregelmatige plagioklaaskristallen en bevat kwarts in de vorm van ronde korrels.

Quartz Dacite Porphyry] : Porfierisch rhyo-daciet, rijk aan kwartsogen, mogelijk gesilificeerd, pyroklastisch gesteente. Kwarts is vaak subangular, 1-5 mm en kan pyrietinsluitels bevatten. Het gesteente heeft een fijne vloeistruktuur en is gelamineerd. Afwisselend siliciumrijke- en siliciumarme (plagioklaasrijke) laagjes (2-5 mm dik) of slierten, die rond de kwarts vloeien en "vers" uitzien of gechlorietiseerd zijn. Variërende hoeveelheid witte albietfenokristen aanwezig met lengte kleiner dan 3 mm. Bevat ook plaatselijk fijnkorrelige afgeronde en gelamineerde klastische kwarts met diameter kleiner dan 5 mm. In de Marinasector treft men veelvuldig silica-adertjes aan die kriskras door de gelaagdheid lopen, meestal echter parallel of bijna parallel liggend aan de vloeistruktuur. Zelden zijn mafische mineralen aanwezig, meestal zijn ze gechlorietiseerd. Kan ook sulfides bevatten, gedissemineerd, blaasjes of draadjes (py, cpy). In zeldzame gevallen ook als mm-dikke barstvulling of aders (bo, cc, cpy, py).

Quartz Dacite Breccia 7 : Lijkt veel op Quartz Dacite Porphyry. Bevat hoekige subronde (mm-cm groot) gelamineerde, klastische kwartsiet, dacietporfier en equigranulair "graniet". (Sub)hoekige kwartsogen tot 5 mm. Fijne vloeistructuur (pyroklastisch?) en zwaar gechloritiseerd op een aantal plaatsen. Lijkt samen te vloeien met Quartz Dacite Porphyry. Contact moeilijk te bepalen. In het algemeen weinig verertsing (bo, cc, cpy, py). Op sommige plaatsen rijke hoeveelheid pyriet en chalcopyriet, zelden een rijkere hoeveelheid borniet.

4. Mineralisatie

De mineralisatie vormt een onregelmatige zone, 100-200 m dik, die de stratificatie onder een kleine hoek snijdt. De mineralisatie is beperkt tot de roze-rode daciet en de dioriet. De verertsing bestaat hoofdzakelijk uit staalgrijze, harde chalcosien (Cu_2S), vaak vervangen door fijne blaadjes van covellien (CuS), geassocieerd met variërende hoeveelheden borniet (Cu_5FeS_4) dat gewoonlijk in de lagere delen meer voorkomt. Een tweede, lager gelegen zone, op sommige plaatsen interferrierend met de hogere, bestaat voornamelijk uit borniet met hier en daar kleinere hoeveelheden chalcopyriet en galeniet. Onder deze laag is in het algemeen een duidelijke overgang naar chalcopyriet-pyriet mineralisatie, op een aantal plaatsen echter gaat borniet geleidelijk over in borniet-chalcopyriet en vervolgens chalcopyriet of pyriet-chalcopyriet.

De begrenzing van de chalcopyriet-borniet zone komt bijna exact overeen met de grens van het economisch exploiteerbare erts (Cut-off grade $\pm 1\%$). Zelden komt chalcopyriet in voldoende quantiteit voor om als erts gekwalificeerd te worden. De grens tussen erts en steriel is vaak zeer duidelijk.

De dioriet sills in daciet en andesiet bevatten gedissemineerd pyriet en chalcopyriet met lensvormige concentraties van borniet en compliceren het beeld van de mineraalinhoud. Boven de voornaamste sulfidelaag is metallisch hematiet in de vorm van speculariet aanwezig. Dit is de oorsprong van het limonietisch hematiet, dat het gesteente in en om de voornaamste laag karakteristiek kleurt. Onder deze laag is een zwakke tot matige chloriet alteratie aanwezig met een geringe toename in de diepte van epidoot. Gemeneraliseerde lagen in deze zone (één à twee in aantal) bestaan uitsluitend uit borniet met sporen van galeniet. De kopermineralisatie komt voor in kleine aders of gedissemineerd (spikkelerts). Op plaatsen waar de sulfidelaag dichterbij dan 150 m van de oppervlakte komt is het bovenste deel geoxideerd en bestaan voornamelijk uit atacamiet ($CuCl_2 \cdot Cu(OH)_2$) en chrysokol ($CuO \cdot SiO_2 \cdot 2H_2O$) respectievelijk in de verhouding 3:1. Men veronderstelt dat deze laag ontstaan is door in situ oxidatie van een eerder gevormde sulfide, secundaire aanrijkingzone. Supergene zoutoplossingen zouden de oxidatieproducten gedeeltelijk als chloriden hebben geprecipiteerd. De oxidatie dringt dieper door langs breuken en fracture zones.

Andere mineralen in deze zone zijn: in kleine hoeveelheid kopercarbonaat, sampleite (gehydrateerd fosfaat), gips, calcië en natriumchloride (zoutkorst van de woestijn). Calcië komt ook veelvuldig in de diepere lagen voor, voornamelijk rondom intrusiva en is dan een produkt van de albietisatie der plagioklazen.

Recapitulatie: De primaire mineralen, die normaliter voldoende hoog gehalte bereiken en in duidelijk herkenbare zones voorkomen zijn chalcopyriet, borniet en chalcosien. Boven deze mineralen komt men op beperkte plaatsen secundair aangerijkte mineralen tegen, chalcosien en covellien, en daarboven de oxidische mineralen atacamiet en chrysokol.

2.5. Regulariteit en geometrie van de verertsing

Mantos Blancos wordt gekwalificeerd als een "stratabound" deposit. Top en bodem van de verertsing zijn duidelijk herkenbaar. De mineralisatie en het gehalte zijn vrij constant. Exploratie geschiedde tot voor 2 jaar in het algemeen door middel van vertikale boorgaten in een rechthoekig patroon. Boorgatafstand: 25 of 50 meter. Daartussen is het verloop vrij goed voorspelbaar. Desalniettemin vertoont de erts-massa een onregelmatige vorm door storingen, ingesloten steriel en grillige contourën.

Deze verschijnselen zijn de aanzet geweest voor het besluit om het nieuwe Nora-Marina-gebied door middel van cut en fill mining te exploiteren om maximale extractie te bereiken met minimale verdunning. Dit in tegenstelling tot de tegenvallende resultaten van sublevelstopping en sublevelcaving in de andere ondergrondse mijnen van Mantos Blancos.

Grote breuken met vertikale en laterale verplaatsing scheiden de afzetting in 4 blokken. Deze blokken variëren in lengte van 200 tot 360 meter en in breedte van 100 tot 200 meter. Van Oost naar West: Sorpresa-Mercedes, Elvira, Nora-Marina en Tercera-Quinta.

Van Nora-Marina is bekend dat het zich tot tenminste 350 meter beneden het oppervlak uitstrekt. Tercera en Marina vormden waarschijnlijk één geheel en zijn door de "falla" Tercera uit elkaar geschoven.

2.6. Genetisch model (zie figuur 5)

De geologische kenmerken van dit ertsvoorkomen zijn slechts summier bekend. Evenzo weet men weinig over de genese. Tegenwoordig probeert men een genese- en evolutiemodel te ontwikkelen ten behoeve van gerichte exploratie naar meer reserves. De genese wordt verondersteld als volgt te hebben plaatsgevonden:

Vulkanische activiteit veroorzaakte een uitvloeïng van zure, visceuze lava in de vorm van een steile, weinig uitgestrekte "hoop".

Geologisch gezien korte tijd daarna, terwijl het afkoelingsproces gaande was, werd de hydrothermale laag onder een kleine hoek met de stratificatie van de lava afgezet. In en om de afzetting werd het gesteente gealbietiseerd en gesilicificeerd. Chlorietisatie vond alleen plaats aan de onderkant, voornamelijk rondom de toevoerkanaalen van de hydrothermale oplossing. Sulfidische activiteit reikte niet verder dan tot aan de bovenkant van de afzetting. Daarboven zijn alle mineralen oxidisch met speculariet-hematiet. Na oppervlakteverlaging door erosie begon de secundaire aanrijking van de sulfides en later de oxidatie met NaCl tot atacamiet en chrysokol.

Mantos Blancos ligt in het kruispunt van twee belangrijke breuksystemen (met tektonische activiteit voor, tijdens en na de afzetting tot in het Tertiair) te weten: In Noord-Zuid richting het breuksysteem van Salar del Carmen en in NO-ZW richting een met behulp van satellietfoto's geïdentificeerd breuksysteem, evenwijdig aan de autoweg Antofagasta-Calama. De interactie van deze structuren veroorzaakt een herhalende reeks van breukvormingen en fracturing van het ertslichaam gedurende de complete evolutie.

Hoofdstuk 3 Huidige Exploitatie en Ertsverwerking

	blz
3.1. Open Pit	16
3.1.1. Produktieboren	16
3.1.2. Blasting	17
3.1.3. Laden	17
3.1.4. Transport	18
3.1.5. Wegenonderhoud en bandenslijtage	18
3.2. Ondergrondse mijn	19
3.2.1. Methode	19
3.2.2. Produktieperforatie	20
3.2.3. Schieten	20
3.2.4. Ontsluiting en Voorbereiding	20
3.2.5. Laden	22
3.2.6. Transport	22
3.3. Planning en Grade control	26
3.4. Oxide ertsverwerking	27
3.5. Sulfide concentrator	30
3.6. Kosten en Produktiecijfers	33
3.7. Capaciteiten en knelpunten in huidige produktie en verwerking	36

Open Pit

Ontwerpcriteria's voor de open pits zijn:

- maximaal talud voor trucktransport : 12%
- maximaal talud voor boorapparatuur : 15-18%
- minimale werkbreedte van een bench voor het beladen van trucks : 20 m
- benchhoogte 12 m
- uiteindelijk talud van de pit : 45 graden

1. Produktieboren

Er worden twee boorschema's gebruikt (zie figuur 6).

A: In erts wordt geschoten met normale ANFO. Burden en spacing bedragen respectievelijk 6 meter (voor de eerste rij) en 5,5 meter. De tweede en derde rij hebben een burden van respectievelijk 4,5 en 4 meter. Op deze wijze wordt i.h.a een goede fragmentatie van het erts verkregen. De maximale grootte van ertsbrokken voor de oxide-crusher: 90 cm.

B: In steriel zijn burden en spacing groter. Men gebruikt hier een zwaardere en goedkopere springstof: SANFO. Op deze wijze wordt een grovere fragmentatie verkregen, voldoende voor laden en transport naar de sterieldump (botadera).

Boren: 6 machines Reichdrill C-650 "Chicago Pneumatic", crawlermounted.
 boorhamer DHD Mission Mega A53-15, luchtspoeling.
 luchtdruk 150 lb/sq. inch, consumptie 450 cuft/min.
 aanzetdruk 200-250 lb, rotatiesnelheid buttonbit 20-22 per minuut.
 gemiddelde boorsnelheid 14 m/uur.

Beitels: Coromant, Hughes, Mission en Dresser buttonbits, diameter 6½ inch.

Beitelslijtage en kosten:	Coromant	1300 m per complete bit (40x slijpen)	90 \$/m
	Hughes	750 m per complete bit	110 \$/m
	Mission	600 m per complete bit	104 \$/m
	Dresser	700 m per complete bit	nog niet bekend.

De Zweedse Coromant beitels zijn het goedkoopst en hebben de langste levensduur, 40-50 m voor opslijpen. Het slijpen van de beitels gebeurt ter plaatse aan de machine.

DHD slijtage: piston 13000 boormeters, pistoncase 6000 m.

Boorstangen: 2 lengtes 20 en 25 feet, buitendiameter 5 inch.

Lengte boorhamer 5 feet. Lengte van de korte boorstang + hamer is gelijk aan de lengte van de 25 voetsstang.

De capaciteit van de 6 Reichdrills is tegenwoordig ruim voldoende door invoering van deze nieuwe boorhamer. Met de oude hamer bedroeg de boorsnelheid slechts 8 m per uur en was het noodzakelijk om met 5 machines drie diensten per dag te boren. Op dit moment experimenteert men met een nieuwe DHD: Dresser. Het resultaat is nog beter: 18 m/uur met een luchtdruk van 200 lb/sq. inch. De Reichdrills zijn 8 tot 16 jaar oud.

Gemiddeld aantal boormeters per maand: 14.000, 3 machines, 2 diensten per dag (effectieve boortijd per dienst 6½ uur). Totale boorkosten: 7 \$/m.

1.2. Blasting

Springstof: ANFO voor het schieten van erts, wordt in Mantos Blancos gemengd (6% Fuel Oil). Detonatiesnelheid 4500 m/s.

SANFO (Sulphur Ammonium Nitrate Fuel Oil): bevat naast AN en S ook natriumnitraat, koolstof en soms water. Deze springstof is krachtiger door een grotere gasontwikkeling. De detonatiesnelheid is langzamer: 4000 m/s. SANFO is in Chile goedkoper, men gebruikt natriumnitraat uit de woestijn. Mantos Blancos koopt deze springstof in Calama.

Ontsteking: Primer 450 gr APD (Alto Poder Detonante) met Nonel ontsteker, verbonden aan ontstekingskoord Primuline G7. Laden van een boorgat: vanaf de bodem eerst 5 m (S)ANFO (100kg), dan de primer en vervolgens meer (S)ANFO tot 3 à 4 m onder het oppervlak. De rest van het boorgat wordt opgevuld met zand, aarde of fijn ripio. Springstoffactor 220 gr/ton voor steriel met SANFO.

240 gr/ton voor erts met ANFO.

De springstof wordt door middel van een 10 tons Ripcotruck gedistribueerd.

Schietschema (zie figuur 7). De eerste rij gaten heeft een Nonel delay van 25 msec in de primer. De tweede rij 50 msec, de derde rij 75 msec enz. Afhankelijk van geologische omstandigheden, beschikbare ruimte, veiligheid etc., kiest men de plaats van de inbraak. De eerste rij is verbonden door een slagkoord en delays van 10, 17 of 25 msec. Bij grote afslagen wordt ook de laatste rij verbonden door slagkoord en identieke delays in verband met eventueel falen van de verbindingen van de eerste rij.

Maximale hoeveelheid per blast (steriel): 350.000 ton. De gemiddelde hoeveelheid per blast voor erts is 45.000 ton. Soms worden twee banken (24 m) tegelijk geschoten. Men gebruikt dan twee APD primers per gat. Er worden geen verschillende schietschema's gebruikt voor laden met shovels of Front End Loaders.

Secundaire blasting: Dit vorm i.h.a. geen groot probleem bij het schieten van een afslag met meerdere rijen boorgaten. Te grote brokken erts (voor oxide > 90 cm, sulfide > 70 cm) worden met een pneumatische hamer of door middel van boren met een pneumatische boormachine (Airtrack) en schieten klein gemaakt. In 1980 werkten deze machines 2-3 uur per dienst. Kosten voor Airtrack, jackhammer en compressor: 10,25 \$/uur.

1.3. Laden

Shovels: 4 stuks P & H 1400 DE bucketcapaciteit 4½ cu.yard Crawlermounted.

Capaciteit per shovel 2800/3000 ton/dienst (7 effectieve laaduren). Maximum 3580 ton/dienst. Per dag is één machine een dienst lang in onderhoud. Bij goede fragmentatie laadt men een 45 tons Haulpak truck met 6-7 buckets. Minder goede fragmentatie 9-10 buckets.

Front End Loaders: 4 stuks Michigan 275 B, bucketcapaciteit 6½ cu. yard.

Capaciteit: 1800 ton/dienst.

De shovels worden bij grote afslagen ingezet. De FEL's zijn flexibel qua inzet en worden meestal bij kleinere moeilijker bereikbare afslagen ingezet. Deze laadmachines werken ook op de stockpiles.

1.1.4. Transport

Wagenpark: 19 Haulpak H50 reëele capaciteit 45 ton 702 ton/dienst.
4 KW Dart 2440 reëele capaciteit 43 ton 636 ton/dienst.
1 KW Dart 2330 reëele capaciteit 27 ton 292 ton/dienst.

Beschikbaar voor transport 18 trucks (disponibilidad 75%). Gemiddeld zijn 6 trucks in onderhoud (of banden verwisselen).

Verdeling over laadapparatuur (afhankelijk van transportafstand)

Shovel 1	aantal trucks	4
2		3
3		3
4		3
FEL 1		3
2		2

Van deze 18 trucks vervoeren 7 mineraal en 11 steriel.

1.1.5. Wegenonderhoud en bandenslijtage

Men gebruikt uitgeloogd erts (ripio) en slak (CaCl_2) voor wegenonderhoud. Per maand wordt 5000-8000 ton ripio door 3 graders over de wegen verspreid. Op horizontale hoofdwegen gebruikt men een mengsel van 90% ripio (korrelgrootte 1/8 inch) en 10% slak. Nadeel van het hygroscopische CaCl_2 : gevaar voor slippen 's nachts en 's morgens. Op hellende wegen gebruikt men daarom een mengsel van 95% ripio en 5% slak.

Van de drie graders (2 Austin Western S200 en 1 Clark 301 S) werkt er normaal één in de open pit, één ondergronds (onderhoud ramps) en één in het mijndorp en de plants.

Bandenslijtage Haulpak 6000 uur per band, kosten 2500 \$/band.

Kiruna 3500 uur per band, kosten 2000 \$/band.

Recapping van de banden wordt niet toegepast.

Ondergrondse mijn

1. Methode

In verband met oppervlakte stabiliteit werd in de hoger gelegen verdiepingen Room en Pillar mijnbouw toegepast. Ook indien de hoogte van de verertsing minder is dan 12 meter, is het economisch gunstiger om Room en Pillar toe te passen.

Afmetingen van de kamers: 12 meter hoog, 10 meter breed. Pillars waren 6 meter dik.

Op aanbeveling van een Zweeds ingenieursbureau koos men voor Sublevel caving in de lager gelegen verdiepingen. Vertikale afstand tussen de sublevels 12 meter. Breedte van de drifts en pillarbreedte tussen de drifts: 5,5 meter. Deze aanbeveling was gebaseerd op exploratiegegevens afkomstig van verticale churndrillgaten in een regelmatig patroon. Exploratie op deze manier geeft rechthoekige cellen met één gehalte per cel. In werkelijkheid is de verertsing echter zeer onregelmatig. De verdunning met Sublevelcaving bedroeg meer dan 30%.

Sindsdien wordt alleen inclined diamond drilling gebruikt en is men overgestapt op Sublevelstopping waarbij de Zweedse mijn Stråssa model heeft gestaan. Dit model werd aangepast om ondanks onregelmatige verertsing toch een hoge extractiegraad en lage verdunning te verkrijgen.

De primaire lay-out van de kamers, gebaseerd op primaire exploratie (DDH vanaf het oppervlak) wordt na secundaire exploratie (ondergrondse boorgaten) aangepast. Na aanleg van de boorgalerijen wordt met de fandrillapparatuur om de 10 meter een krans geboord. Van elke 5,5 meter boorgat (3 boorstangen) wordt een monster genomen. Met deze nieuwe gegevens worden de uiteindelijke vormen vastgesteld. Slechts zelden wordt er een complete kamer (24 meter hoog en 19 meter breed) in z'n geheel gewonnen. Dit systeem werd voor het eerst toegepast in Marina Profunda (onder de Marina pit). Ook tijdens de produktieperforatie worden de boorgaten bemonsterd met het doel, het dagelijkse produktieschema vast te stellen (zie ook Grade Control) en om eventueel de stopevormen nogmaals aan te passen.

Andere verschillen met Stråssa:

- Pillarwinning op dezelfde wijze als de winning van de kamers.
- Ontbreken van crown pillar.
- Boorgalerijvorm was aanvankelijk identiek aan de typische Stråssagalerij, met het doel trechters onder een hoek van 45 graden te kunnen boren. Ten behoeve van een uniforme galerijdoorsnede is men hier later vanaf gestapt. Men werkt nu met normale rechthoekige galerijen en trechters met een hoek van 60 graden.

De winning wordt gestart met het maken van een 3 x 3 meter slotraise, 20 meter hoog in de hoek van een kamer. Indien meerdere kamers naast elkaar zijn geprojecteerd, wordt deze raise gebruikt voor het maken van een slot over de hele breedte.

2. Produktieperforatie

5 Fandrillmachines Gardner Denver type JB, uitgerust met 2 boorarmen en pneumatische boorhamers PR 123 J. Deze machine wordt bediend door één operator. Verplaatsing van de machine over afstanden langer dan 30 meter geschiedt met behulp van een dieseltractor.

Luchtdruk boorhamer 85-90 lb/sq. inch.

Waterspoeling 40-45 l/min per boorhamer.

Waterdruk 50 lb/sq. inch.

Beitel: Coromant Insert Crossbit $2\frac{1}{4}''$ (57mm)Ø (experimenteel ook $2\frac{1}{2}''$)

Boorstangen: hexagonale doorsnede $1\frac{1}{4}''$ x 6' (1,83 m)

Koppelstukken: $1\frac{3}{4}''$ x $3\frac{1}{2}''$

Capaciteit: 50 m/dienst.boorhamer. 1 Dienst is 8 uur, 6 effectieve werkuren, en $4\frac{1}{2}$ -5 effectieve booruren. 1 Machine is in reparatie of stand-by.

Capaciteit van de 4 beschikbare machines $8 \times 50 \times 75 = 30.000$ m/maand.

Benodigde capaciteit: 17-20.000 m/maand.

Boorschema's: zie figuren *8, 9 en 10*

Probleem hoge kamers: door deviatie van de boorgaten slecht schietresultaat in de bovenkant van de kamer. Aantal boorgaten per complete waaier 8-10. Afstand tussen de waaiers: 1.70 meter. 7,5-8,0 Ton per meter produktieperforatie. Gewoonlijk wordt slechts 1 waaier per keer geschoten.

3. Schieten

Explosieven: gewoonlijk gebruikt men ANFO. Dit wordt pneumatisch geladen met een zweeds toestel, Jet Anol 300. Indien problemen met water: Slurry Hidrex 300 (afkomstig van Dupont) op waterbasis in patronen van $1\frac{1}{8}''$ x 8".

Primer: - Dynamite Tronex, $1\frac{1}{2}''$ x 8" patronen.

- APD 150 gram.

Ontsteking: elektrisch, Schaffler. Kabels van 5 en 10 meter.

Per boorgat gebruikt men 3 primers, waarvan de onderste elektrisch ontstoken wordt (zie figuur 8). Tegenwoordig verkrijgt men een betere fragmentatie door ook de bovenste te ontsteken.

In 1982 werd gemiddeld per maand 122.000 ton gesteente geschoten met 62.000 pounds explosieven (In dit jaar werd uitsluitend uit stopes geproduceerd, geen Room en Pillar).

Springstoffactor: 1,95 ton gesteente per pound explosieven (incl. primer)

Secundair schieten: Hierover zijn geen gegevens bekend. I.h.a. vormt dit geen probleem.

4. Ontsluiting en voorbereiding

In 1981 820 meter per maand (horizontaal en vertikaal).

Boormachines:

-2 stuks Gardner Denver Universal III, elk uitgerust met 3 boorarmen en pneumatische boorhamers PR-123 J. Deze machine is geschikt voor het drijven van tunnels en vertikaal boren (benchdrilling) in R & P mijnbouw.

-3 stuks Tamrock MJM-21 jumbo's, 3 boorarmen met pneumatische drifters E 400.

De Tamrock Jumbo's zijn alleen geschikt voor het drijven van tunnels en hebben daarbij een hoger rendement dan de Gardner Denvers.

Verplaatsing over langere afstand: dieseltractors.

Waterdruk 50 lb/sq. inch, luchtdruk 85-90 lb/sq inch.

Beitels: $1\frac{3}{4}$ " crossbit (44 mm) voor Gardner Denver en $1\frac{7}{8}$ " voor de Tamrock's.

Boorstangen: Gardner Denver 1400 (voor beide typen machines), lengte $13\frac{1}{2}$ ' (4,05 meter).

Hexagonale doorsnede 1' \emptyset .

Tegenwoordig worden experimenteel goede resultaten verkregen met $2\frac{1}{4}$ " bits en $1\frac{1}{4}$ " boorstangen. Met dit materiaal minder deviatie. Boorsnelheid 60 m/H.drifter.

2.4.1. Boorschema (zie figuur 11)

Alle boorgaten behalve de randgaten zijn parallel. Inbraak wordt gevormd door een $3\frac{1}{2}$ " gat of een aantal onbezette gaten met normale diameter. De gaten aan de omtrek van de galerij wijken naar buiten uit. Dak en wandgaten 2 graden. Gaten op de bodem 5-8 graden. Zo ontstaat een overbreak van 10%. De extra ruimte op de bodem wordt opgevuld met ripio, een laag van 30 cm. Ripio wordt overal in de mijn verspreid ter egalisatie van de galerijbodem.

Boorgatdiepte met 4,05 meter boorstangen: 3,30-3,50 meter. Afslagdiepte 3,00-3,20 meter.

2.4.2 Springstof

Voor de inbraak: ANFO met 3 patronen Hidrex op de bodem van het gat.

Gaten op de bodem worden geladen met Hidrex of Dynamite in verband met de eventuele aanwezigheid van water en de benodigde grotere springstoffactor. Bij plafond- en wandgaten wordt soms presplitting toegepast met P44 patronen (=identiek aan Guritespringstof van Nitro-Nobel), 17 mm \emptyset en 18' (45 cm) lang, die gecentreerd in het gat worden aangebracht. Resterende gaten worden geladen met ANFO + Hidrex of Dynamite.

ANFO wordt geladen met Jet Anol 200 (kleiner type pneumatische laadmachine).

Ontsteking: elektrisch, Schaffner.

Afmetingen van de galerijen:

ramp	7 x 5 m (70-80 boorgaten)	90 ton/m
ramp	6 x 5 m	85 ton/m
produktie(boor)galerij	4,50 x 4,20 m	50-52 ton/m
produktie(boor)galerij	5,00 x 4,00 m	57 ton/m
extractie(laad)galerij	3,80 x 3,00 m	46 ton/m

Vertikale ontsluiting en voorbereiding: Men beschikt over een Alimak STH-5L raiser, voornamelijk voor het maken van ventilatieschachten langer dan 60 meter. Kortere ore passes en slotraises worden gemaakt met behulp van platforms (2 x 2 en 3 x 3 m) en met de hand bediende Gardner Denver drifters.

1981: Extractie in ontsluiting en voorbereiding 57.000 ton gesteente per maand.

Explosievenverbruik 247.000 pounds per maand \rightarrow springstoffactor 0,23 ton per pound explosieven.

Totale ondergrondse extractie in 1981: \pm 180.000 ton erts en steriel per maand.

3.2.5. Laden

8 Wagners ST8. Bucketinhoud 8 yrd^3 ($6,1 \text{ m}^3$). 250 HP dieselmotoren.

Deze machines transporteren gebroken gesteente van stopes (en voorbereiding) naar orepasses. Maximale transportafstand 350 m. Optimaal 150 m. Maximale helling 10-15%. Capaciteit 300-400 ton/dienst per Scooptram.

1 Front End Loader Michigan 27-B, bucketinhoud $2\frac{1}{2} \text{ yrd}^3$ voor het laden van trucks onder een orepass, waar geen chute (laadinstallatie) aanwezig is. Orepasses bevatten 20" grizzly's en pneumatische hamer voor het kleinmaken van grote brokken.

3.2.6. Transport

4 Kirunatrucks K500 2 Volvomotoren, elk 250 HP

2 Kirunatrucks K501 1 Volvomotor 500 HP

1 Dart KW 2330 Stand-by.

De Kirunatrucks zijn uitgerust met exhaust gas cleaners (katalysator voor CO/CO_2 en filters). Theoretische laadcapaciteit 42 ton, reëel 38 ton.

D 2330 theoretische capaciteit 30 short tons, reëel 23 (metric) ton.

De capaciteit van deze transportvloot wordt in hoofdstuk 5 uitvoeriger besproken.

Afmetingen ondergrondse transportwegen (voor Kirunatrucks):

ramp: breedte 7 m, hoogte 5 m, radiushoeken 2 m

maximale helling van een recht stuk ramp: 10-12%.

minimale radius bocht: 30-50 m.

maximale helling in een bocht: 6%.

} in verband met slijtage differentieel.

bovengrondse transportwegen Mantos Blancos: maximale helling 6-8%.

Bandenslijtage Kiruna's en Wagners \pm 3000 uur per band. Bandenkosten Kiruna en Wagner 2000 \$ (identieke banden voor Wagners en Kiruna's).

Service trucks: 3 stuks Normet SA PK-3000, 2 stuks Wagner UT 45A en een aantal Pegaso 10 tonners. Normet is uitgerust met platform of Jet Anol 300. De Pegaso's worden o.a. ingezet voor het vervoer van monsters.

3.2.7. Drainage

2 Typen pompen: Alichambers centrifugaalpompen, opvoerhoogte 90 m en kleine draagbare Wileypompen (deze verpompen het water naar de grote Alichambers of naar Pegaso tankwagen). Al het water in de mijn is afkomstig van de boorhamers. Deze gebruiken 40-45 l/min.

3.2.8. Ventilatie

Richtgetal voor het bepalen van de vereiste ventilatie: $100 \text{ ft}^3/\text{min}$ per HP dieselmotor (= $2,83 \text{ m}^3/\text{min}$).

Bijvoorbeeld: 1 Wagner ST8 : $700 \text{ m}^3/\text{min}$.

1 Kiruna 500 : $1400 \text{ m}^3/\text{min}$.

Er wordt geen onderscheid gemaakt met betrekking tot de arbeidstoestand van de machines. Bijvoorbeeld het laden van een Kiruna onder een oreshute met stationair draaiende motor of laudhaulage in de ramp met motor op volle kracht werkend. De ventilatie wordt berekend aan de hand van het aantal HP's in de mijn. Men beschikt over 14 Korfmann axiaal ventilatoren, 50 HP (36 KW) capaciteit 50.000 ft³/min (25 m³/sec) bij 110 mm waterdruk en 2 Joy ventilatoren capaciteit 15.000 ft³/min 15 HP. De Joy ventilatoren worden alleen gebruikt voor secundaire ventilatie (met slurf 1,20 m Ø).

Geïnstalleerde ventilatiecapaciteit eind 1981: Sorpresa 12.300 m³/min, Marina 4500 m³/min.

Ventilatie Sorpresa

Verse lucht wordt aangevoerd door twee ventilatieschachten en via de verbindingen met de bodem van de open pit Mercedes. In de Noordelijke ventilatieschacht is één 50 HP ventilator geïnstalleerd cap. 1500 m³/min. In de Zuidelijke ventilatieschacht zijn 3 50 HP ventilatoren parallel geïnstalleerd. Cap 4500 m³/min. De ventilatie is dus blazend. Deze schachten zijn op de verschillende verdiepingen aangesloten. De exploitatiegebieden worden waar nodig secundair geventileerd. De gebruikte lucht komt in de laad-transportverdieping (830 m) terecht en verlaat de mijn door de tunnel principal (de transportweg).

3.2.9. Compressoren

5 Stuks Atlas Copco ER-8. Totale capaciteit 11.000 ft³/min (310 m³/min).

Druk gecomprimeerde lucht: 100 lb/sq inch (7 atm). Druk bij de werkpunten 85-90 lb/sq.inch. Distributienet: 10" leidingen in de ramp, 6" in de verdiepingen.

3.2.10. Secundair schieten

Er zijn tegenwoordig apparaten verkrijgbaar waarmee secundair schieten, met alle daarvoor verbonden nadelen, overbodig wordt. Atlas Copco heeft twee verschillende methoden:

1. DARDA: hydraulisch splijten (zie bijlage 11A)

In een eerder geboord gat wordt een splijtcylinder bestaande uit een wig en twee contrawiggen gestoken. De wig wordt hydraulisch tussen de contrawiggen gedrukt, die zijdelings uitwijken en een kracht van maximaal 365 ton op het gesteente uitoefenen. Het blok splijt afhankelijk van de sterkte in 10 tot 60 sec.

Het Darda-systeem bestaat uit een hydraulische pomp (die door diesel, electriciteit of gecomprimeerde lucht aangedreven wordt) en één of meerdere splijtcylinders. Men kan uit 14 verschillende typen splijtcylinders kiezen. Het hele systeem is compact en makkelijk transporteerbaar en er is geen speciaal getraind bedieningspersoneel voor nodig.

2. CRAC 200: Breken met waterkanon (zie bijlage 118)

Dit is het nieuwste systeem van Atlas Copco. Het bestaat uit 3 hoofdcomponenten: hydraulische arm met boorhamer en waterkanon, krachtstation voor het laden van het kanon en een bedieningscabine. Met de boorhamer wordt een 32-34 mm groot gat met een diepte van max. 80 cm in de steen geboord. Hierna zwenkt het waterkanon in de juiste positie, boven het gat en wordt geladen met 1,8 l water onder een druk van 400 bar. Het kanon gaat af en de waterstraal breekt het blok.

De hele arbeidscyclus: boren, laden van het kanon en schieten duurt 60 sec en ieder schot breekt ongeveer 1 m^3 gesteente.

Het Dardasysteem is niet compleet, er hoort een boormachine bij. Darda kan in Mantos Blancos in de open pit ingezet worden samen met de pneumatische boorhamer Airtrack en de jackhammer. Daarmee zou men een beduidend hogere efficiency verkrijgen door het ontbreken van de i.v.m. de veiligheid tijdrovende schietprocedure.

Ondergronds wordt in het algemeen niet secundair geschoten. Alleen daar waar Kirunatrucks niet in de buurt van de grote boulders kunnen komen, worden speciale (dure) springladingen gebruikt. Meestal worden de ongeveer 1 m^3 grote boulders met een scooptram in de Kiruna geladen, uit de mijn getransporteerd en bovengronds kleiner gemaakt. Dit is ook een zeer tijdrovend karwei.

Ondergronds zou de Crac 200 goed op z'n plaats zijn. Onafhankelijk van perslucht of electriciteit, mobiel en snelwerkend is dit apparaat de oplossing voor het probleem.

De primaire breker werd 6,5 uur per dienst. Toegevoerde hoeveelheid erts per uur: 506 ton ($9,870/3 \times 6,5$).

De gemiddelde wachttijd voor trucks om in de primaire breker te lossen is 2,5 minuten. Halverwege een dienst (tijdens de piekproductie) komen wachttijden van 10 minuten voor en staan soms 7 trucks te wachten. Capaciteit leaching plant: 8.250 ton/dag in theorie. In praktijk ruim 8.500 ton. Smelten en raffinage capaciteit 82 ton Cu per dag.

Benodigd: $8.460 \times 0,014$ (Cu grade) $\times 0,80$ (Cu Recovery) $\times 0,85$ (% ingots) = 81,1 ton/dag.

Sulfideplant.

De primaire breker moet 4.340 ton/dag (ma t/m za) verwerken. De rest van de plant verwerkt 3.720 ton/dag ($6/7 \times 4.340$).

De capaciteit van de primaire breker, 500 ton/H, is ruim voldoende om 4.340 ton per dag te verwerken, zelfs met breakdowns die zeer vaak voorkomen. Te grote brokken erts moeten bijvoorbeeld met een aparte kraan uit de breker "gevist" worden, wat zeer veel oponthoud betekent.

Gemiddelde wachttijd voor trucks bij de breker: 0,5 minuut.

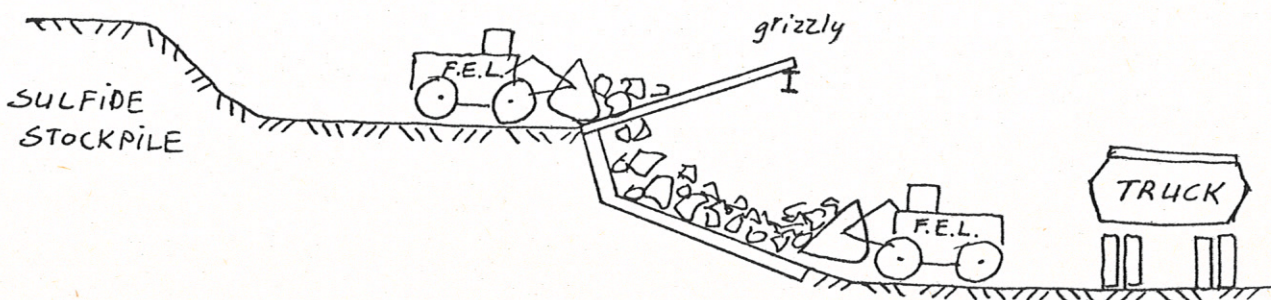
De overall capaciteit van de crushing sectie is theoretisch 3.600 ton/dag. Hetzelfde geldt voor de maalsectie. De twee kogelmolens met elk een capaciteit van 75 ton/H werken onafgebroken 24 uur per dag. Sinds capaciteitsverhoging van de sulfideplant van 1 miljoen naar 1,3 miljoen ton per jaar wordt het breek- en maalgedeelte continue overbelast. Tijd voor onderhoud en reparaties is er eigenlijk niet meer.

Oponthoud primaire breker sulfideplant

Het erts wordt door de trucks in een bunker gekiept met een capaciteit van 62 ton. Men kan onderzoeken of op deze betonnen, vierkante bunker een vibrerende grizzly geplaatst kan worden. Als dat niet mogelijk is, dient men een grizzly te plaatsen daar waar de grote blokken vandaan komen. De orepasses ondergronds zijn al uitgerust met grizzly's. De grote stukken kunnen alleen afkomstig zijn van de open pit Stockpile (zie produktieschema blz 36).

Een oplossing met een vaste grizzly zou kunnen zijn: zie tekening

Op deze manier heeft men twee front-end-loaders nodig om van de stockpile te laden. Gezien de ruime capaciteit van de laadapparatuur in de Open Pit is deze tweede Front-end-loader wel beschikbaar.



3. Planning en grade controle

Op basis van exploratiegegevens: de ertsreserves berekend met de cut-off grades van tabel 12 en de capaciteiten van oxideplant en sulfideconcentrator wordt een vijfjarenplan samengesteld. Dit vormt de basis voor 1-jarige produktieschema's en op kortere termijn trimesterplannen. Een constant kopergehalte in de toevoer naar de verwerkingsinstallaties is daarbij van groot belang.

Grotere fluctuaties in de plant head grade voor sulfidisch erts beïnvloeden niet zo zeer de recovery van het flotatieproces, maar wel het uiteindelijke Cu-gehalte van het concentraat. Men streeft naar een constant gehalte van 45% Cu in het concentraat. Daartoe dient de plant head grade voor sulfide-erts binnen de grenzen 1,50 en 1,70% Cu Ins. te blijven.

De recovery van de oxideplant is veel gevoeliger voor fluctuaties van het kopergehalte (zie grafiek 13). Bij de tegenwoordig nagestreefde plant head grade van 1,41% Cu Sol. bedraagt de recovery 79 à 80%. Hiernaast is voor het logingsproces de verhouding andesietisch en dacietisch erts van belang. Ook het calciatgehalte wordt zoveel mogelijk constant gehouden in verband met de zuurconsumptie. Van elk boorgat, zowel de benchblastinggaten in de open pit als de fandrillgaten in de ondergrondse stopes worden scherfmonsters genomen. Met deze gegevens wordt dagelijks een produktieschema samengesteld, waarin aangegeven wordt van welke bench en van welke stope erts vervoerd moet worden naar de brekers of naar de stockpiles. Hoogwaardig erts wordt gemengd met marginaal erts zodanig, dat de verwerkingsinstallaties een constante toevoer krijgen: constant in gehalte en tonnage.

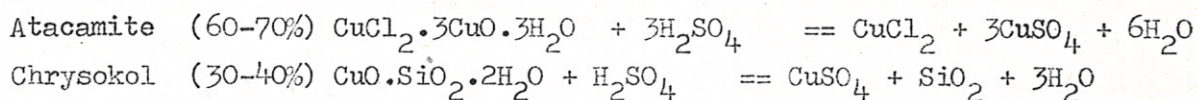
3.4. Oxide-ertsverwerking

Het hoge chloridegehalte van het oxide-erts (0,4-1,5% Cl) maakt conventioneel logen gevolgd door elektrolyse onmogelijk. In Mantos Blancos wordt de percolatieloging gevolgd door chemische precipitatie van de Cu-oplossingen met SO₂ gas, waarmee men koperchloride krijgt van hoge zuiverheid. Dit vormt de grondstof voor pelletisatie en pyrometallurgische reductie na toevoeging van kalk en koolstof. Dit proces werd in Mantos Blancos voor het eerst op economische schaal toegepast. Een klein deel van de oplossingen worden geprecipiteerd op conventionele wijze met ijzerschroot.

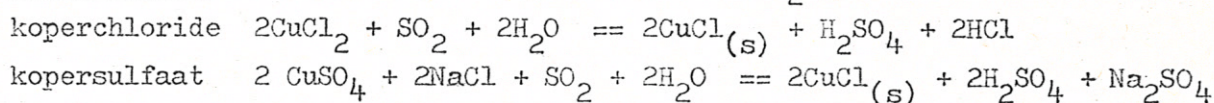
Processen (zie blokstroombiagram figuur /4):

- loging met H₂SO₄
- precipitatie met SO₂
- pelletisatie van CuCl met CaCO₃ en C
- smelten en raffinage
- cementatie (verdringing van Cu door Fe)

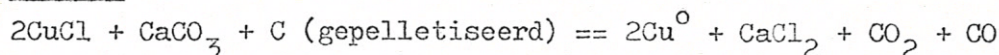
1. Loging: oplossen van Cu.



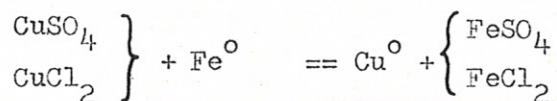
2. Precipitatie: reductie van de koperzouten met SO₂



3. Smelten: reductie van CuCl.



4. Cementatie: reductie van Cu met ijzerschroot.



Tegenwoordige capaciteit: 250.000 ton erts per maand, 33.500 ton koper per jaar bestaande uit 15% kopercement (85-88% Cu) en 85% koperstaven (99,96% Cu).

3.4.1. Breken

Door hoog soortelijk gewicht en lage permeabiliteit van het dacietisch erts is het voor het logingsproces noodzakelijk het erts te breken tot -5 mm (-3/16 inch). Tevens is van belang de verhouding dacietisch-andesietisch erts. Daciet wordt slechts licht aangetast door het zwavelzuur in de loogoplossing, terwijl andesiet met o.a. ferromagnesiummineralen snel desintegreerd. Dit verschijnsel wordt een probleem bij hogere zuurconcentratie en langere loogtijd. Om slikvorming dat de percolatieloging belemmerd te verminderen gebruikt men een lage zuurconcentratie en korte loogtijd en worden de twee ertsen zodanig gemengd dat de hoeveelheid andesiet niet meer is dan 20%.

Het erts wordt gebroken in vier stappen. De primaire breker is een Allis Chalmers gyratory crusher 36 x 35 inch. Erts wordt gebroken van 900 mm tot -125 mm en vervolgens opgeslagen. De tweede stap is een Symons Standard $5\frac{1}{2}$ ft breker. Deze reduceert het erts tot -20 mm. Vervolgens een Short Head Symons $5\frac{1}{2}$ ft breker tot -8 mm. Het erts wordt hierna opgeslagen in een 800 tons bunker en daarna over Symons 5 mm staafzeven geleid. De oversize gaat naar de laatste stap: 4 eveneens Short Head Symons $5\frac{1}{2}$ ft brekers. Deze vier vormen een gesloten systeem met de 800 tons bunker en de 5 mm staafzeven. Men werkt in dit gesloten systeem met een tamelijk grote circulerende hoeveelheid, opdat de twee ertstypen intensief gemengd worden. De zeefundersize (-5 mm) wordt direkt naar de loogvaten vervoerd en tijdens het vullen van zo'n "batea" bevochtigd (5% H_2O) om segregatie tegen te gaan. Tijdens het breken wordt ook steenzout toegevoegd om de juiste Cu-Cl verhouding te bereikē. De oxide crushingplant heeft een capaciteit van 500-550 ton per uur. Vier keer per week wordt de zaak stilgelegd om onderhoud uit te voeren, in totaal 22 uur per week.

4.2. Logen

De leaching plant omvat 10 open vaten, elk met een oppervlakte van 20 x 20 m en een hoogte van 7.30 m. Capaciteit 4000 ton. Deze loogtanks zijn geconstrueerd van gewapend beton met een dubbele bodem van geperforeerde planken, overdekt met kokosmatten. Een vat wordt regelmatig geladen met behulp van een beweegbare laadbrug.

De cyclustijd van 115 uur is als volgt verdeeld:

laden	11 uur
wassen	5 uur
loging	60 uur
wassen en uitlekken	23 uur
ontladen	11 uur
onderhoud	5 uur

Het calciëgehalte van het erts, ongeveer 1% veroorzaakt niet alleen een hoog zuurverbruik, maar ook CO_2 gasvorming die de percolatieloging belemmerd. Daarom wordt in het begin opwaarts geloogd. De eerste $150 m^3$ loog bevat nog maar weinig koper, maar veel slijk. Deze hoeveelheid wordt naar een ander vat gepompt, waar reeds gewassen wordt. De loog circuleert hier van boven naar beneden, waarbij het ertspakket als filter fungeert waarin het slijk achterblijft.

Het uitgeloogde erts (ripio genoemd, met 10% H_2O en 0,2-0,3% Cu Sol.) wordt met een 5 tons Demag kraan in trucks geladen en afgevoerd. De koperoplossing wordt in tanks opgeslagen waarin achtergebleven slijk minstens 6 uur de tijd krijgt om te bezinken.

Capaciteit leaching plant 8250 ton erts/dag (3 diensten/dag, 7 dagen/week)

zuurverbruik: 3 kg H_2SO_4 - HCl per kg Cu.

recovery: 83%

produkt: $3360 m^3$ /dag 35-40 gr Cu/l, 25-35 gr Cl/l en 2-3 gr H_2SO_4 /l.

5.4.3. Precipitatie

Koper wordt met behulp van SO_2 gas uit de oplossing gescheiden in de vorm van koperchloride. Zwavel wordt opgelost in heet water en verbrandt. Het gas bevat 16% SO_2 . De precipitatie vindt plaats in 6 torens, 17 m hoog en 4 m diameter. De tot 60°C verhitte koperoplossing gaat van boven naar beneden door de toren in tegenstroom met het gas. Na reactie bevat het gas nog maar 1 à 2% SO_2 . CuCl wordt in de vorm van kleine witte kristalletjes afgescheiden. Via indikers en centrifuges wordt het watergehalte tot 5-6% gereduceerd.

Na precipitatie bevat de loog 10-12 gr Cu/l , 35-40 gr $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{l}$ en 20 gr HCl/l . Deze oplossing wordt naar de loogvaten teruggepompt.

5.4.4. Smelten en raffinage

Het koperchloride wordt intensief gemengd met kalk en koolstof (59% CuCl , 26,5% CaCO_3 en 4,5% C) en gepelletiseerd. Het vochtgehalte wordt in een tunneldroger gereduceerd tot 0,5%.

De vier ovens zijn van het type "Kurztrommelofen", diameter 3,5 m en 4 m lang. Brander en rookkanaal bevinden zich aan de achterzijde. Laden, slak aftappen en leegmaken van de oven vindt plaats aan de voorzijde. 13 Ton pellets worden in de oven geladen. Dit geeft na 4 uur verhitten $4\frac{1}{2}$ ton ruw koper.

Wegens de selectiviteit van het precipitatieproces bevat dit ruw koper slechts weinig verontreinigingen nl. alleen S (0,01-0,1%) en Fe (0,003-0,01%, afkomstig van limoniet in het erts). Oxidatie door lucht inblazen en reductie met behulp van eucalyptushout is voldoende om het koper te raffineren. Dit 12-14 uur durende proces gebeurt in een 30 tons Kurztrommelofen. Verliezen tijdens pyrometallurgische processen: $\pm 4\%$, $\frac{1}{2}\%$ in de slak en $3\frac{1}{2}\%$ in rookgassen. Uiteindelijk vindt het gieten van de 50 lb (24,5 kg) ingots plaats.

Productie per dag ongeveer 82 ton met een kopergehalte van 99,96%. Dit koper is van hoge kwaliteit door de afwezigheid van een aantal verontreinigende elementen en heeft daardoor een uitstekende elektrische geleidbaarheid en gunstige mechanische eigenschappen (pletbaarheid).

Productie 1981: 28.157 ton ingots. Gepland voor 1982: 28.960 ton.

5.4.5. Cementatie

Toeneming van verontreinigingen in de loogoplossing zoals sulfaten en chloriden van Fe, Al, Mg en Na plus geringe hoeveelheden fosfaten maken het noodzakelijk dagelijks 1200 tot 1400 m^3 oplossing uit het circuit te nemen. Koper wordt hieruit verdrongen door ijzerschroot in twee roterende cilinders. Na wassen en centrifugeren wordt het koperpoeder (cement) verpakt in polyethyleenzakken van 60 kg. Dit poeder bevat 82-85% Cu, 0,32% Cl en 8% H_2O .

In 1981 produceerde men 4964 ton cement. Geplande productie voor 1982: 5110 ton.

5. Sulfideconcentrator (zie flow sheet figuur 15 en 17 A)

Deze installatie, in 1981 opgestart, was aanvankelijk ontworpen voor de verwerking van 1 miljoen ton sulfidisch erts per jaar. De sulfide ertsreserves namen echter toe van 7 miljoen ton tot 12,6 miljoen ton per 1 januari 1981. Door technische verbeteringen en optimale benutting van de apparatuur heeft men de capaciteit vergroot tot 1,3 miljoen ton per jaar. Plant head grade: 1,45% Cu Ins en \pm 19 gr/ton Ag.

Bijzonderheden van deze plant:

-Ontbreken van staafmolens.

-Tailing van de sulfideflotatie wordt nog eens op oxide gefloteerd (alleen rougher sectie) na toevoeging van Na_2S . Het oxidegehalte van de sulfide-ROM is ongeveer 0,45%.

-Leaching Flotation ter recuperatie van koperoxide en resterend kopersulfide uit het produkt van de oxideflotatie.

-Indikken en filtreren van de tailings om water terug te winnen.

5.1. Breken (zie flow sheet figuur 16)

Om energieverbruik te verminderen breekt men in 4 stappen het erts tot 90% -6 mm. Zodoende vermijdt men het gebruik van staafmolens.

De primaire breker is een Telsmith 44 x 48 inch 150 KW kaakbreker, afgesteld op 127mm. Het grof gebroken erts wordt opgeslagen in een stockpile met maximale capaciteit 12.000 ton. Vervolgens wordt er gezeefd met een vibrerende grizzly zeef, openingen 38 mm. Oversize wordt gebroken in een Telsmith 66 S secondary gyratory crusher (225 KW). De -38 mm undersize en het erts gebroken in de secundaire breker wordt toegevoerd aan een Telsmith dubbeldeks zeef met openingen van 25 en 8 mm. Oversize van het bovenste zeefdek (+25 mm) wordt in een 66 FC tertiaire breker gebroken tot -9,5 mm. Dit erts wordt samengevoegd met de oversize (+ 8 mm) van het onderste zeefdek en opgeslagen in een 90 tons bunker. Hierna wordt gezeefd in twee enkeldekszeven met 7,5 mm openingen. De oversize wordt verder gebroken in twee Telsmith 48 VFC's (Very Fine Crusher), aangedreven door 150 KW motoren.

Undersize van de dubbeldekszeef (-8 mm) en de enkeldekszeven (-7,5 mm) wordt opgeslagen in een 4500 ton fijn erts-bunker. Dit fijn gebroken erts heeft een korrelgrootte van 90% -6 mm. Capaciteit van het systeem: 3600 ton per dag (3 diensten).

5.2. Malen

2 Marcy kogelmolens, afmetingen 3,81 m diameter, 5,49 m lengte, totale capaciteit 150 t/h, aandrijving 1120 KW synchroonmotor, werken in gesloten circuit met 8 cyclonen type RWZ 508 mm diameter.

Produkt: 60% - 200 mesh, 35% vaste stof.

5.3. Sulfideflotatie

De roughersectie bestaat uit twaalf $14,2 \text{ m}^3$ Wemco-cellen. Het concentraat van deze cellen bevat 15% sulfide en wordt in een Marcy kogelmolen ($2,59 \times 3,66 \text{ m}$, 300 KW) in gesloten circuit met een groep 305 mm cyclonen fijner gemaakt tot 90% -325 mesh. Overflow van de cyclonen gaat naar de cleanersectie: 6 Denver DR cellen $2,84 \text{ m}^3$ (100 ft^3). Tailing van deze cellen wordt naar 6 identieke cellen gepompt, die fungeren als scavengersectie. De float van deze sectie gaat terug naar de molen. De tailing gaat naar de oxideflotatie.

Contraat van de eerste cleanerzellen wordt nog twee maal gereinigd in een tweede- en derde cleanersectie, resp. 4 en 2 Denver Sub A cellen van elk $2,8 \text{ m}^3$. De uiteindelijke concentraatslurry wordt ingedikd in een $10,7 \text{ m}$ \emptyset Dorr-Oliver indikker en gedroogd op een horizontaal 12 m^2 Delkor stoomverhit bandfilter (eindprodukt bevat ca. 10% H_2O).

Productie sulfidecontraat 1981: 29.200 ton. Gehalte: 45 % Cu, 600 ppm Ag.
Recovery Cu Ins 91%, Ag 90%.

5.4. Oxideflotatie

De tailings van rougher en scavengersectie van de sulfideflotatie wordt in 6 $14,2 \text{ m}^3$ Wemcocellen behandeld met Na_2S . Dit gaat een fysische binding aan met voornamelijk Atacamite. De PH is hier 2,5-3,0. De float bevat 15% Cu Sol en 1% Cu Ins. De oxideflotatie bestaat alleen uit een roughersectie. Van de aanwezige oxideminerale wordt ca. 50% op deze manier uit de tailings gewonnen.

5.5. Leaching Flotation (zie flowsheet 17)

De slurry, afkomstig van oxideflotatie ($\pm 2,5 \text{ ton/h}$ solids), wordt na opslag en conditioneren in 3 agitatie tanks met H_2SO_4 aangerijkt tot een PH van 1. In een batterij van 6 $1,42 \text{ m}^3$ (50 ft^3) Wemcocellen wordt uit deze oplossing per dag 1 ton onoplosbaar sulfidecontraat afgefloteerd, ingedikd en gefiltreerd. Tailings van deze flotatiesectie worden ook ingedikd. Overflow van indikkers en filters worden toegevoegd aan de afgewerkte loogoplossing van de oxideplant.

De ingedikte tailings worden naar een serie van drie indikkers gepompt, waar met een zuuroplossing deze tailings in tegenstroom gewassen worden. Overflow van de eerste tank wordt naar het loogreinigingsgedeelte van de leaching plant gepompt. Underflow van de derde indikker wordt naar de tailingdump gepompt.

5.6. Tailingbehandeling

Tailings afkomstig van oxideflotatie bevatten ca. 135 ton vaste stof per uur. Vanwege de noodzaak om zoveel mogelijk water terug te winnen worden deze tailings eerst gecycloniseerd. Overflow van de cycloon gaat naar een $44,2 \text{ m}$ \emptyset Dorr-Oliver Cable Torg indikker waar 287 m^3 water per uur afgescheiden wordt.

Underflow van de indikker wordt gefilterd in twee 9-disk $3,9 \text{ m}$ \emptyset Dorr-Oliver filters, elk met een 130 KW vacuum pomp.

Gefilterde tailings bevatten ca. 17% vocht en worden opgeslagen en vervolgens met behulp van Front End Loader en trucks afgevoerd. Van de underflow van de cycloon wordt de helft eveneens gefilterd. Door de te kleine capaciteit van de filters wordt de andere helft direkt naar de tailingdump gepompt.

3.6. Kosten en produktiecijfers

3.6.1. Ondergrondse mijn

Produktie 1980:

Produktie uit stopes	339.310	ton	steriel
	810.054	ton	oxide-erts
	<u>834</u>	ton	sulfide-erts
	1.150.207	ton	totaal

Ontsluiting en voorbereiding	529.370	ton	steriel
	<u>95.295</u>	ton	oxide-erts
	624.665	ton	totaal

Ontsluiting	3181,10 m	horizontaal
	170,40 m	vertikaal
Vorbereiding	<u>6088,60 m</u>	
	9440,10 m	totaal, 66,17 ton/m.

Kosten 1980:

Ontsluiting en voorbereiding	boren	113,92 \$/m	=	1,72 \$/ton
	schieten	73,68 \$/m	=	1,11 \$/ton
	laden	<u>52,18 \$/m</u>	=	<u>0,79 \$/ton</u>
		239,78 \$/m		3,62 \$/ton

Produktie uit stopes	boren	0,73 \$/ton
	schieten	0,21 \$/ton
	laden	<u>0,79 \$/ton</u>
		1,73 \$/ton

Totale kosten per ton	boren, schieten en laden	2,40 \$
	transport	0,72 \$
	General Expenses	1,79 \$
	Exploratie	<u>0,08 \$</u>
		4,994 \$

per ton mineraal (alleen oxide in 1980): 9,78 \$

6.2. Productie en Kosten 1981

	Productie mineraal		Kosten US \$/ton	
	extractie	naar Ox/Sulf.pl.	extractie	naar Ox/Sulf.pl.
Open Pit	2.118.000	1.740.000	6,40	7,79
Ondergr. Mijl	1.256.000	1.095.000	7,90	9,05
M.B. totaal	3.374.000	2.835.000	6,96	8,25

	Geladen tonnage incl. steriel		Kosten US \$/ton	
	extractie	totaal	per ton extractie	per ton totaal
Open Pit	9.687.000	10.716.000	1,399	1,264
Ondergr. Mijl	2.074.000	2.074.000	4,780	4,780
M.B. totaal	11.761.000	12.790.000	1,995	1,835

6.3. Verdeling kosten Open pit

Productieboren	8,215 \$/m	58,508 ton/m	0,140 \$/ton	11,1%
Schieten			0,106 \$/ton	8,4%
Laden			0,283 \$/ton	22,4%
Transport			0,330 \$/ton	26,1%
Bulldozers (stockpile)			0,033 \$/ton	2,6%
Sec. Blasting			0,006 \$/ton	0,5%
Exploratie			0,220 \$/ton	17,4%
General Expenses			0,146 \$/ton	11,5%
			<u>1,264 \$/ton</u>	

Exploratiekosten diamantkernboren: Long Year	69,51 \$/m
Diamec 250	65,10 \$/m
Contractor	154,55 \$/m
Stoping Jumbo(sec. expl. ondergr.)	6,07 \$/m

Laden: Shovel 1400 DE	0,307 \$/ton
FEL Michigan 275 B	0,231 \$/ton
Wagner ST8 + Michigan	0,745 \$/ton

Transport:	Pegaso 2020-B-4	1,146	\$/ton
	KW Dart 2330	0,597	\$/ton
	KW Dart 2440	0,395	\$/ton
	Haulpak 50	0,308	\$/ton
	Kiruna 500	0,676	\$/ton

Sec. Blasting: Airtrack, Jackhammer en Compressor 11,78 \$/uur.

Kosten voor verwerking in Oxide en Sulfideplant: zie hoofdstuk 4.

3.7. Capaciteiten en knelpunten in huidige produktie en verwerking

Geplande gemiddelde dagproduktie in de eerste 4 maanden van 1982 (ton/dag)

	Oxide	Sulfide	Steriel	Totaal gesteente
O.P. Mijn	5.660	-	29.380	35.040
Stockpile	400	1.620	-	2.020
Ondergr. mijn. Produktie	1.618	2.135	851	4.604
Voorb. & Ontsl.	432	585	829	1.846
Subtotaal	<u>8.110</u>	<u>4.340</u>	<u>31.060</u>	<u>43.510</u>
Marginaal naar plant	1.760	-	-	1.760
Totaal	<u>9.870</u>	<u>4.340</u>	<u>31.060</u>	<u>45.270</u>

Het mijngedeelte van Mantos Blancos werkt gemiddeld 25 dagen per maand (ma t/m za).
De plants werken 30 dagen per maand.

3.7.1. Open Pit

Boren: 35.040 ton/dag, 58,5 ton/m. Vereist aantal boormeters: 600 per dag.

Boorsnelheid Reichdrill 14 m/h. 6½ effectieve booruren per dienst, 2 diensten per dag. Benodigd aantal machinediensten 6,6/dag. Aanwezig aantal machinediensten: 10. (Van de 5 machines is er één permanent in onderhoud).

Sinds het invoeren van de betere DHD-boorhamer Mission Mega is er een ruime overcapaciteit.

Laden: Open Pit + Stockpile (full grade) + Stockpile (marginaal) = 38.820 ton/dag.

Capaciteit shovel 2.800 - 3.000 ton/dienst, FEL Michigan 1.800 ton/dienst.

3 Diensten per dag. Aanwezig aantal machinediensten: 11 shoveldiensten en 11 FEL-diensten. (1 Shovel en 1 FEL zijn 1 dienst per dag in onderhoud).

Totale capaciteit: 50.600 ton/dag.

Transport: Effectieve transporttijd per dienst: 6 uur, 50 min/uur, totaal 300 min.

Laadvermogen trucks, in de praktijk gewogen: H50: 45 ton, D2440: 43 ton, D2330: 27 ton.

Cyclustijden (min.)	H50		D2440		D2330	
	erts	steriel	erts	steriel	erts	steriel
Laden	5,4	5,4	4,2	4,2	3,0	3,0
Loadhaulage	7,0	6,7	7,8	8,3	12,9	13,3
Empty return	4,9	5,1	5,7	5,9	8,9	9,8
Wachten voor lossen	2,5	-	2,5	-	2,5	-
Lossen	1,5	2,0	1,5	2,0	1,5	2,0
Totale cyclustijd	<u>21,3</u>	<u>19,2</u>	<u>21,7</u>	<u>20,4</u>	<u>28,8</u>	<u>28,1</u>
Aantal cycli/dienst	14	16	14	15	10	11
Ton/cyclus	45	45	43	43	27	27
Ton/dienst	630	720	602	645	270	297
Steriel: erts = 4:1	702		636		292	

Transportvloot Open Pit: 19 Haulpak 50
4 KW Dart 2440
1 KW Dart 2330

Availability gemiddeld 75% voor de drie typen.

Transportcapaciteit: $0,75 (19 \times 702 + 4 \times 636 + 292) = 12.130 \text{ ton/dienst}$
 $= 36.390 \text{ ton/dag.}$

Benodigde capaciteit (OP + Stockpiles): 38.820 ton/dag.

Transport is voor de Open Pit de bottle neck. De ontbrekende capaciteit wordt aangevuld met de hulp van een contractor die over een zestal 20-tonners beschikt. Deze trucks nemen ook het grootste deel van het ripio-transport (uitgeloogd erts) voor hun rekening. Per maand 250.000 ton ripio, dat betekent dat per dag 8.330 ton ripio naar de dumps vervoerd wordt.

Op deze manier is de transportcapaciteit onder normale omstandigheden juist voldoende. In de winter echter met t.g.v. mistvorming slecht zicht 's nachts en 's morgens, vormt het transport een knelpunt. Bovendien zijn de 20 jaar oude Dart-trucks hoognodig aan vervanging toe. In 1982 zal men 2 nieuwe Haulpak-trucks aanschaffen.

7.2. Ondergrondse mijn

Boren:

a. Voorbereiding en ontsluiting.

Per maand wordt 800 m galerij gedreven, 1846 ton/dag, 32 m/dag, 57,7 ton/m.

57,7 ton/m komt overeen met een meter vooruitgang in een galerij met afmetingen 4 x 5 m (met 10% overbreak: $1,1 \times 5 \times 4 \times 2,6 = 57,2 \text{ ton/m}$).

Een afslag in een 5 x 4 m galerij bestaat uit 53 boorgaten met boorgatdiepte 3,40 m. Afslagdiepte 3,00 - 3,20 m. Hieruit volgt het aantal boormeters per dag: $32/3,10 \times 53 \times 3,40 = 1860 \text{ m/dag}$.

Effectieve werktijd 6 uur/dienst waarvan 5 uur boren. Availability van de drie Tamrock Jumbo's en de twee Gardner Denver Jumbo's Universal III: 80%.

Boorsnelheid van beide typen 60 m/H (3 boorarmen per machine).

Capaciteit $5 \times 0,80 \times 5 \times 60 \times 3 = 3600 \text{ m/dag}$.

Praktijkcijfers: boortijd 5 x 4 afslag 3 uur, 7 x 5 afslag 4 uur.

b. Productie.

4.604 ton/dag, 7,5 - 8,0 ton per meter produktieperforatie, 614 m/dag.

Beschikbaar 5 GD fandrill JB met 2 boorarmen. Boorsnelheid 50 m/dienst. Boorarm. (4,5 - 5 effectieve booruren/dienst). Availability 80%.

Capaciteit $5 \times 2 \times 0,8 \times 50 \times 3 = 1200 \text{ m/dag}$.

Men beschikt over een tweemaal zo grote capaciteit als theoretisch gezien noodzakelijk is. Het grote aantal, zeer verspreid liggende, werkpunten in de verschillende ondergrondse mijnen maakt het echter noodzakelijk over een dergelijk groot aantal boormachines te beschikken.

Laden:

Totaal 6.450 ton/dag. Men beschikt over 8 Wagner's ST8. Availability 75%.

Capaciteit 300-400 ton/dienst. Totaal 6.300 ton/dag.

Met de toekomstige Cut en Fill ontginning in het Nora-Marina ertslichaam verwacht men een gunstiger laadeffect, tot 500 ton/dienst, wat ruim voldoende zal zijn.

Transport:

Beschikbaar 6 Kiruna's en 1 Dart 2330 standby.

Capaciteit Kiruna trucks (voor berekening zie hoofdstuk 5):

Transport vanuit Sorpresamijn	Sulfide-erts	585 ton/dienst
	Oxide	518 ton/dienst
	Steriel	509 ton/dienst
Transport vanuit Nora-Marina	Sulfide	427 ton/dienst
	Oxide	400 ton/dienst
	Steriel	394 ton/dienst

Programma 1e trimester 1982

		Extractie	Vorb. & Ontsl.	Totaal	per dag	aantal ben.		
Sorpresas	Ox.	70.600	36.000	15.300	85.900	859	0,55	truck
	Sulf.	196.000		20.700	216.700	2.167	1,23	
	Ster.	53.800	14.200		68.000	680	0,45	
Nora-Marina	Ox.	91.200	65.700	27.900	119.100	1.191	0,99	
	Sulf.	17.500		37.800	55.300	553	0,43	
	Ster.	31.300	68.700		100.000	1.000	0,85	

Totaal aantal benodigde trucks 4,50

6 Trucks aanwezig. Available 75%. 4,5 Trucks operationeel: Juist voldoende.

De Dart 2330 wordt ingezet om piekproducties op te vangen. De contractor beschikt ook over vijf 14-tonners die ondergronds ingezet kunnen worden. In de toekomst zullen ook de Darts 2330, die momenteel nog bovengronds dienst doen, ondergronds ingezet worden.

De mijnen Sorpresa en Nora-Tercera-Marina profunda zijn d.m.v. hellende tunnels verbonden met de oppervlakte. Deze ramps zijn niet breed genoeg voor tweerichtingsverkeer. Bij de korte Sorpresa ramp vormt dit geen probleem. De wachttijden zijn hier kort. De veel langere "Tunel Principal" naar Nora-Marina en Tercera beperkt duidelijk de transportcapaciteit. Deze bottle neck wordt in hoofdstuk 5 besproken.

7.3. Verwerking

Oxideplant programma: $6/7 \times 9.870 = 8.460$ ton/dag.

Capaciteit primaire breker en de rest van de crushing plant 500-550 ton/H.

De primaire breker werkt 6,5 uur per dienst. Toegevoerde hoeveelheid erts per uur: 506 ton ($9.870/3 \times 6,5$).

De gemiddelde wachttijd voor trucks om in de primaire breker te lossen is 2,5 minuten. Halverwege een dienst (tijdens de piekproductie) komen wachttijden van 10 minuten voor en staan soms 7 trucks te wachten. Capaciteit leaching plant 8.250 ton/dag in theorie. In praktijk ruim 8.500 ton. Smelten en raffinage capaciteit 82 ton Cu per dag.

Benodigd: $8.460 \times 0,014$ (Cu grade) $\times 0,80$ (Cu Recovery) $\times 0,85$ (% ingots) = 81,1 ton/ dag.

Sulfideplant.

De primaire breker moet 4.340 ton/dag (ma t/m za) verwerken. De rest van de plant verwerkt 3.720 ton/dag ($6/7 \times 4.340$).

De capaciteit van de primaire breker, 500 ton/H, is ruim voldoende om 4.340 ton per dag te verwerken, zelfs met breakdowns die zeer vaak voorkomen. Te grote brokken erts moeten bijvoorbeeld met een aparte kraan uit de breker "gevist" worden, wat zeer veel oponthoud betekent. *Oplossing: zie pag. 25*

Gemiddelde wachttijd voor trucks bij de breker: 0,5 minuut.

De overall capaciteit van de crushing sectie is theoretisch 3.600 ton/dag. Hetzelfde geldt voor de maalsectie. De twee kogelmolens met elk een capaciteit van 75 ton/H werken onafgebroken 24 uren per dag. Sinds capaciteitsverhoging van de *sulfi* deplant van 1 miljoen naar 1,3 miljoen ton per jaar wordt het breek- en maalgedeelte continue overbelast. Tijd voor onderhoud en reparaties is er eigenlijk niet meer.

7.4. Waterhuishouding Mantos Blancos

Mantos Blancos ligt in de Atacama-woestijn, één van de droogste gebieden ter wereld. Water betreft men via een 300 km lange pijpleiding uit het Boliviaanse Andesgebergte. Behalve de zee op ongeveer 50 km afstand zijn er geen bruikbare bronnen binnen een straal van 300 km te vinden.

De universiteit van Leuven in België heeft indertijd voor Mantos Blancos onderzocht of het zoute zeewater in de ~~leaching~~ ^{sulfide-}plant gebruikt kon worden. Dit bleek economisch niet haalbaar te zijn. Men is aan de pijpleiding gebonden met een maximum afname van $8000 \text{ m}^3/\text{dag}$.

Waterverbruik	Mijn	350 m^3/dag
	Oxideplant	2.600 m^3/dag
	Sulfideplant	2.700 m^3/dag
	Dorp	410 m^3/dag
	Compressorhuis	130 m^3/dag
		<hr/>
		6.190 m^3/dag

In het volgende wordt onderzocht in hoeverre men water opnieuw gebruikt.

Mijn: Al het water in de mijn is afkomstig van de boorhamers. Dit water wordt door middel van pompen uit de mijn gepompt. De boorhamers in de produktie verbruiken ca 45 l/min, de drifters verbruiken ca 40 l/min.

Produktie: 614 m/dag (blz 37). Capaciteit boorhamer: 50 m/dienst. Effectieve boortijd per dienst: 5 uur. Waterverbruik: $\frac{614}{50} \times 5 \times 60 \times 45 = 166 \text{ m}^3/\text{dag}$.

Ontsl. Voorb: 1860 m/dag (blz 37). Capaciteit drifter: 20 m/H. Effectieve boortijd per dienst: 5 uur. Waterverbruik $\frac{1860}{20} \times 60 \times 40 = 223 \text{ m}^3/\text{dag}$.

Totale waterverbruik in de mijn zou dus zijn $390 \text{ m}^3/\text{dag}$ terwijl in de praktijk volgens blz 39 $350 \text{ m}^3/\text{dag}$ wordt verbruikt. Dat betekent dat het uit de mijn gepompte boorwater nergens anders wordt gebruikt terwijl het toch makkelijk opnieuw in de mijn gebruikt ^akon worden.

Oxideplant

Per dag wordt 8250 ton erts geloogd. Het uitgeloogde erts heeft een watergehalte van 10%, waardoor zo'n 815 m^3 water verloren gaat. De leaching plant produceert 3360 m^3 loog per dag. Na precipitatie keert deze hoeveelheid weer terug naar de loging.

Uit deze circulerende hoeveelheid wordt per dag $1200-1400 \text{ m}^3$ afgetapt. Hieruit wordt Cu door cementatie afgescheiden. Ondanks de waarde van water in deze streek wordt de resterende oplossing geloosd. Het is niet mogelijk dit water van z'n vele verontreinigingen te zuiveren.

Aan de oplossing afkomstig van de precipitatie wordt per dag 220 ton zwavelzuuroplossing toegevoegd ter compensatie van het door het erts verbruikte zuur.

Waterverbruik:	Cementatie	$1200-1400 \text{ m}^3$
	Uitgeloogd erts	815 m^3
	Zwavelzuur	220 m^3
		<hr/>
		$2235-2435 \text{ m}^3/\text{dag}$

Het totale verbruik is 2600 m^3 . De resterende hoeveelheid gaat verloren door verdamping uit de loogvaten en in de pyrometallurgische afdeling (o.a. afkoelen van ingots).

De opmerking van blz 39: 1500 m^3 waswater leaching plant kan ik niet thuisbrengen. Waarschijnlijk moet dit vervangen worden door de $1200-1400 \text{ m}^3$, dat naar de cementatie gaat.

Mijndorp

Het mijndorp, waar ongeveer 300 werknemers van de 2000 wonen, verbruikt 410 m^3 per dag. De andere werknemers reizen na het werk per bus terug naar Antofagasta, een rit van 3 kwartier. Er zijn in Mantos Blancos geen badlokalen voor hen en de watervoorziening in sommige (armere) wijken van de stad laat veel te wensen over.

Volgens blz 39 verbruikt het compressorhuis $130 \text{ m}^3/\text{dag}$. Er wordt dus maar een klein gedeelte van het koelwater opnieuw gebruikt, terwijl hier een eenvoudige mogelijkheid bestaat om al dit water te gebruiken (badhuis bijvoorbeeld).

Conclusie

Mijnwater, $350 \text{ m}^3/\text{dag}$, en koelwater zou opnieuw gebruikt kunnen worden. Dat levert $480 \text{ m}^3/\text{dag}$ op. In de oxideplant zijn geen mogelijkheden om belangrijke hoeveelheden water terug te winnen.

De sulfideplant verbruikt door overbelasting zo'n 2000 m^3 te veel. Met de bouw van de nieuwe grotere plant moet daar rekening mee gehouden worden. Er is een waterzuiveringsinstallatie met een capaciteit van $500 \text{ m}^3/\text{dag}$ (Dorr Oliver). Hier wordt servicewater, koelwater en water uit de gieterij gezuiverd.

Met de beschikbare gegevens is een diagram getekend waaruit de waterconsumptie en de hoeveelheid recycled water in de verschillende delen van Mantos Blancos afgelezen kan worden. *Zie bijlage 17B*

Hoofdstuk 4 Evaluatie van het ertslichaam

	blz
4.1. Mantos Blancos Algemeen	44
4.1.1. Exploratie	44
4.1.2. Ertsreservebepaling	45
4.2. Nora-Marina	48
4.2.1. Exploratie	48
4.2.2. Ertstonnage volgens planimetrie	48
4.2.3. Mantos Blancos ertsreservebepaling	49
4.3. Paylimits	53
4.3.1. Paylimits Mantos Blancos	54
4.3.2. Paylimits Nora-Marina	54
4.3.3. Conclusies	55
4.4. Gehalte-Tonnage relatie	56
4.4.1. Lognormale verdelingen	57
4.5. Berekening optimale cut-off grade	61

1.1. Mantos Blancos Algemeen

1.1.1. Exploratie

Diamant-kernboren is in Mantos Blancos tegenwoordig de belangrijkste methode voor exploratie. In 1980 werd 23.000^m DDH geboord voor exploratiedoeleinden. Men beschikt over 5 DDH machines, 3 Longyear type 38 en 2 Atlas Copco machines type Diamec 250. Al deze machines worden elektrisch aangedreven en zijn daardoor eveneens geschikt voor ondergronds kernboren. Bovendien beschikt men over een Down the Hole Drill machine, die alleen gebruikt wordt voor boren door het steriele dekterrein om vervolgens het ertslichaam te verkennen met kernboorapparatuur. Naast genoemde apparatuur maakt men eveneens gebruik van de apparatuur van een contractor. Deze beschikt momenteel over drie DDH machines met dieselaandrijving en daardoor alleen geschikt voor exploratie vanaf het oppervlak.

Het kernboren geschiedt normaliter met BQ wireline met kerndiameter 36 mm. Indien men storingen verwacht die het boren kunnen bemoeilijken worden de eerste 40 tot 100 meter met NQ beitel, kerndiameter 48 mm geboord. Dit biedt de mogelijkheid het gat te bekleden en verder te boren met BQ.

Boorvoortgang: 275-350 meter per maand.

Boorkosten: 60-70 \$/m met eigen apparatuur.

150 \$/m contractor.

In het algemeen is de kernopbrengst dankzij het competente gesteente zeer hoog, de core recovery bedraagt meer dan 90%. Vermeldenswaardig is ook dat men in dit harde gesteente tot voor kort churndrill apparatuur gebruikte. In december 1980 werd op deze wijze het laatste gat geboord. In 1980: 8.000 meter churndrill.

Bemonstering: De kern wordt gespleten en van een helft wordt elke 1,5 m bemonsterd. Het resultaat bestaat overeenkomstig de verwerking uit twee kopergehalten: oplosbaar en onoplosbaar koper, respectievelijk oxide en sulfide-erts.

Voor de bepaling van het zilveragehalte neemt men elke 12 meter een monster.

Zilver komt voor zowel in oxidisch- als in sulfidisch erts. Zilver in oxidisch erts wordt echter niet gewonnen, het blijft achter in slak en ripio. Het zilveragehalte varieert van 15 tot 30 gr/ton. Het hoogste gehalte komt in de chalcosien-covellien-mineralisatie. Het gehalte neemt af in borniet en chalcopyriet. Chalcopyriet bevat slechts weinig zilver. Het zilveragehalte is min of meer evenredig met het kopergehalte. Naast koper en zilver wordt ook het calciatgehalte en het zuurverbruik voor oxidisch erts bepaald. Dit laatste geschiedt overeenkomstig het leaching proces.

De exploratie heeft als primair doel het bepalen van de contouren van de verertsing, breuken, dikes, de verschillende gesteenten en de verschillende mineralisatiezones. De boorgaten hebben een invloedsafstand van 25 meter. Al deze gegevens, afkomstig van verticale, inclined en ondergrondse boringen worden verwerkt in verticale Oost-West doorsnedes, gebaseerd op het coördinatensysteem. De schaal is 1:2000 en de afstand tussen de doorsnedes is 25 meter in Noord-Zuidrichting.

Het gehalte wordt overeenkomstig bestaande mijnverdiepingen bepaald door de monsterwaardes van een intersectie tussen de verdiepingen te middelen (verdiepingsafstand: 12 meter). De invloedsafstand van een dergelijk gemiddelde reikt tot halverwege het dichtsbijzijnde boorgat met een maximum van 25 meter. Voor niet-vertikale boorgaten wordt de invloedsafstand gemeten vanaf het midden van een verdieping in de richting van de mineralisatietrend.

4.1.2. Ertsreservebepaling

Voor de eigenlijke reserveberekening gebruikt men een verdeling in cellen of blokken met vierkante basis 12,5 x 12,5 meter en hoogte 12 meter (de verdiepingsafstand). De celcentra vormen lijnen parallel met het coördinatensysteem.

Deze verdeling in cellen biedt de mogelijkheid tot:

- a. Nauwkeuriger bepaling van ertsbegrenzing en ingesloten steriel zoals dikes.
- b. Betere coördinatie tussen exploitatie en reserveberekening.
- c. Het gebruik van een computersysteem. Hierbij wordt elke cel geïdentificeerd door de coördinaten van zijn centrum en de hoogte van de basis.

Elke cel krijgt een gehalte overeenkomstig het invloedsgebied waartoe de cel behoort. In gevallen waarbij in één cel sulfide, oxide, steriel of elke combinatie hiervan wordt aangetroffen, wordt een celgehalte berekend aan de hand van de volumina ingenomen door elk ertstype of steriel. De cellen gelegen tussen de verticale secties die door meer dan één invloedsgebied doorsneden worden, krijgen een gehalte berekend overeenkomstig elk aandeel der invloedsgebieden.

De laatste stap is de weergave van de cellen in horizontale secties met schaal 1:2000 en intervallen van 12 meter (verdiepingsafstand).

Men onderscheidt twee klassen (proven) ertsreserves:

Categorie 1A: Reserves waarvoor een project voor extractie besa^t.

Al het erts binnen de projectgrenzen wordt meegeteld, ook cellen met steriel die niet selectief gemijnd kunnen worden. Cellen zonder informatie over gehalte worden een (waste) gehalte toegewezen dat het gemiddelde is van de steriele cellen in dezelfde verdieping. Tonnage en gehalte worden gecorrigeerd overeenkomstig de mijnbouwmethode (zie 20).

Categorie 1B: Reserves zonder project voor extractie; waarvoor nog geen beslissing met betrekking tot de mijnbouwmethode is genomen. Dit zijn ook bewezen reserves met minimaal mogelijk extractie 75%. Het totale berekende tonnage wordt verminderd met 25% en het gehalte met 20% als compensatie voor bemonsteringsfouten en verdunning.

Gebruikte cut-off grades en correcties zie 19 en 20

Soortelijk gewicht

Het bepalen van het soortelijk gewicht van het erts is van groot belang voor de ertsreserveberekening. Een afwijking van slechts 5% geeft in het geval van de totale Mantos Blancos sulfidereserve (27,2 miljoen ton) een verschil van bijna 1,4 miljoen ton. Dat betekent ruim een half jaar korter of langer produceren.

Ook in de uiteindelijke produktie speelt de tonnagesfactor een grote rol. Neem als voorbeeld het schietschema van bijlage blz 50, waarin door de WP-consulenten voor het s.g. 2,7 genomen wordt. In Mantos Blancos wordt tegenwoordig 2,6 gebruikt (zowel voor reservebepaling als voor het opstellen van produktieschema's). Stel dat het werkelijke s.g. inderdaad 2,7 is, een verschil van 4%. Dat zou betekenen met een volume van de afslag van 788 m^3 dat er 2125 ton geladen en getransporteerd moet worden in plaats van de in het produktieschema berekende 2050 ton. Op één afslag 75 ton meer. 7 LHD ladingen extra, 2 truckladingen, 4 skips etc.

Het is niet eenvoudig om in Mantos Blancos het s.g. te bepalen. Er zijn drie verschillende gesteenten, te weten Daciet-Quartz s.g. steriel 2,48, Daciet-Porfier s.g. 2,57 en Dioriet s.g. 2,66. Bovendien is de mineraalinhoud complex met pyriet, chalcopyriet, covellien, borniet en chalcosien.

In grafiek 18 is het resultaat van het onderzoek naar het s.g. van sulfide-erts weergegeven. Op de horizontale as zijn de verschillende mineralen uitgezet met naar rechts toenemend s.g. De belangrijkste mineralen in gesteente dat als erts gekwalificeerd wordt zijn borniet en chalcosien.

Het door Mantos Blancos gekozen s.g. van 2,6 ligt duidelijk onder het gemiddelde van de drie lijnen. Dit is aan de veilige kant gekozen ten aanzien van de ertsreserveberekening. Ervaring van het Australisch instituut voor mijnbouw en metallurgie leert echter dat gewoonlijk meer erts gevonden wordt dan voorspeld of verwacht werd in een eerder stadium. Tonnage valt dus meestal wel mee. Een te laag gekozen s.g. betekent een waarschijnlijk overbodig ingebouwde veiligheidsmarge. En als ditzelfde s.g. ook in de produktie gebruikt wordt ontstaan de eerder beschreven problemen in de planning.

#18A, 18B

#18C

De 90 monsters zijn in de bijgevoegde grafiek nogmaals uitgezet met op de horizontale as het percentage koper. Elk punt is een gemiddelde van 5 monsters met identieke mineralisatie. Voor de drie verschillende gesteenten zijn de regressielijnen bepaald en ingetekend. De Daciet-Quartz curve is progressief stijgend. De andere lijnen hebben een dalend verloop, te wijten aan de monsters met het relatief zware pyriet.

Theoretisch zou men van elke lithologische eenheid en zelfs van elke soort mineralisatie het soortelijk gewicht kunnen bepalen. Dit is in de praktijk echter te omslachtig en bewerkelijk en wordt ook bemoeilijkt doordat de grenzen tussen de verschillende lithologische eenheden niet altijd duidelijk herkenbaar zijn. Men kan wel het percentage van elke eenheid in de totale reserve schatten en daarmee één soortelijk gewicht bepalen. Daciet-Quartz en Daciet-Porfier komen ongeveer in dezelfde hoeveelheid voor, terwijl Dioriet minder voorkomt. Met als percentages 40, 40 en 20 wordt dan het gemiddeld soortelijk gewicht, afgelezen uit de bijgevoegde grafiek bij een Cu % van 2,2% (het gehalte van de Nora-Marina reserve):

$$0.4 \times (2,72 + 2,56) + 0,2 \times 2,73 = 2,66 \text{ ton/m}^3$$

Hetzelfde getal volgt ook uit grafiek 18, afgelezen bij de Chalcosien-Borniet mineralisatie:

$$0.4 \times (2,72 + 2,56) + 0,2 \times 2,76 = 2,66 \text{ ton/m}^3$$

4.2. Nora-Marina

4.2.1. Exploratie

Er waren verschillende aanwijzingen om tot verkenning van het diepere gedeelte van het gebied begrensd door de Tercera- en de Marina-breuk over te gaan.

In volgorde van importantie:

1. De ontdekking van het contact tussen Upper-Andesite en Daciet in de zuidwand van Marina- en Tercera Pits.
2. Een aantal ondiepe Churndrillgaten vertoonden op de bodem sporen van uitloegingsverschijnselen en oxide mineralisatie.
3. Geofysische exploratie en wel in het bijzonder Induced Polarisation (meting van de response op een blokwisselstroom van voornamelijk gedissimineerd pyriet en chalcopyriet, i.h.a. sulfide) vertoonde vage anomalieën.

Op 11 Januari 1979 werd de eerste exploratieboring aangezet (toen nog churndrill) om het contact op te sporen tussen Upper-Andesite en Daciet. Vanuit Tercera Profunda in het Noorden en vanuit Marina in het Oosten werden ondergrondse kernboringen uitgevoerd. Pas na een flink aantal boorgaten werd definitief duidelijk, dat de mineralisatie van Tercera Profunda, die uitwigt naar het Zuiden, zich voorbij de N 10100 coördinaatlijn weer verdikt en voortzet in een apart ertslichaam: Nora Marina.

Tot op heden (eind 1981) heeft men in de Nora-Marina sector 20.000 meter kernboring uitgevoerd, waarmee zo'n 20 miljoen ton erts zijn aangetoond. Dit geeft een zodanige dichtheid van exploratie dat de invloedsafstand van een boorgat niet meer dan 25 meter bedraagt.

Het contact erts-steriel wordt in het algemeen bepaald overeenkomstig de vaak zeer duidelijke grens van mineralisatie. In het geval van een graduele overgang van erts naar steriel gebruikt men de volgende cut-off gradens:

Sulfide: 1,25% Cu Insoluble en Oxide: 1,14% Cu Soluble. Deze waarden zijn zonder correctie, volgens tabel 19 (identiek aan 12).

4.2.2. Ertstonnage volgens planimetrie: zie blz 21

Planimetrie van de 14 belangrijkste doorsnedes van Nora-Marina geeft een in situ (geologische) reserve van 27,2 miljoen ton sulfide en 3,4 miljoen ton oxide (proven en probable reserves).

Cut and fill mining met post-pillars van 10 x 10 meter en afstand tussen de pillarcentra 35 meter geeft theoretisch een extractie van 91,8%. Voor oxidisch erts met grillige, vingerige vormen verwacht men een lagere extractie, n.l. 70%.

Aldus bedragen de winbare reserves volgens cut en fill methode:

Sulfide: $0,9 \cdot 27,2 = 24,5$ miljoen ton

Oxide: $0,7 \cdot 8,4 = 5,9$ miljoen ton

2.3. Mantos Blancos ertsreserveberekening

Deze reserveberekening houdt rekening met cut en fill slices van 7 meter. Het resultaat is inclusief steriel dat niet selectief gemijnd kan worden. Het steriel in Nora-Marina bestaat hoofdzakelijk uit dikes. In de praktijk kunnen dikes smaller dan 3 meter, dit is de diepte van een afslag, niet gescheiden worden van het erts en worden volgens deze berekening meegeteld. Resultaat: zie ook tabel 22 .

Sulfide Proven	14,3 miljoen ton	2,21% Ins. Cu	23 gr Ag/ton
Probable	8,2 miljoen ton	2,14% Ins. Cu	23 gr Ag/ton
Totaal Sulfide	22,5 miljoen ton		
Oxide (All proven)	6,0 miljoen ton	1,66% Sol. Cu	

Dit resultaat, een tonnage en een gemiddeld gehalte geeft geen informatie over de gehalte-tonnage relatie van Nora-Marina. Hoe veranderen tonnage en plant head grade als de cut-off grades veranderen? Zijn de gebruikte cut-off grades wel representatief voor exploitatie van Nora-Marina? De hier gebruikte cut-off grades worden uniform toegepast in Mantos-Blancos, zowel in de open pits als in de ondergrondse mijnen.

Exploratie en ertsreservebepaling

Na de geleidelijke overgang van vertikaal churndrilling in regelmatig patroon naar inclined DDH was het noodzakelijk de regels voor de ertsreservebepaling te wijzigen. Alle informatie wordt nu verwerkt in verticale O-W doorsnede's, een methode die voor onregelmatige verertsing beter is dan plan-methoden. Dit geldt ook voor het gebruik van cellen of blokken voor de uiteindelijke reserveberekening.

Bij de berekening van de reserves worden correctiefactoren toegepast voor tonnage en gehalte. Dit zijn ingebouwde veiligheidsfactoren tegen verdunning en be-monsteringsfouten.

In Mantos Blancos worden bijvoorbeeld voor ondergronds sulfide-erts dat door middel van sublevelstoping gewonnen wordt, de volgende correcties toegepast (zie bijlage 20):

1. Allereerst wordt het monstergehalte met 10% verminderd en alle gehalten hoger dan 4% worden tot deze waarde gereduceerd.

Of dit juist is zal getest moeten worden, waarmee men ook begonnen is (zie opmerking pag. 54). Deze correctie past wel bij churndrilling, maar DDH monsters geven eerder een te laag gehalte.

2. Vervolgens worden correcties voor verdunning toegepast. In dit geval verwacht men dat het tonnage met 5% steriel verdund wordt en het gehalte vermindert met 0,30% Cu Ins.

Deze getallen zijn gebaseerd op ervaring en hier kan ik geen uitspraken over doen. 0,30% Lijkt een forse vermindering van het gehalte, maar met sublevelstoping in dit onregelmatige erts en ondanks aanpassing van de stopevormen moet hier blijkbaar rekening mee gehouden worden.

Het artikel van Haddon F. King zegt hierover: " It is natural perhaps that dilution is invariably underestimated and grade to mill is overestimated".

Bovengenoemde correcties zijn niet toegepast bij de evaluatie van Nora-Marina. De Nora-Marina reserves zijn exclusief erts dat in pilaren achterblijft en al het erts beneden de cut-off grade en inclusief ingesloten steriel dat niet uit-geselecteerd kan worden. Het betreft dus de winbare reserves.

Het gehalte is hier met 15% verminderd, een acceptabele veiligheidsfactor. Haddon F. King in zijn artikel: Het gehalte blijkt gewoonlijk tijdens de uitvoering van het projekt tegen te vallen. Het is zeldzaam dat bij de bepaling van de reserves het gehalte onderschat wordt. Bij mijnbouwprojekten met een groter risico dan nauwkeurig exploreerbare grote afzetting van bv bauxiet en ijzererts, moet rekening gehouden worden met een tegenvallend gehalte van op z'n minst 10%.

In Mantos Blancos wordt momenteel nader onderzoek gedaan naar de pillardimensies waaruit het exacte niet mijnbare ertspercentage zal volgen. Met betrekking tot verdunning wordt gesteld dat dit laag zal zijn.

Onvermijdbaar echter in overhand cut en fill is de verdunning met de vulling. Hiervan zal men een schatting moeten maken.

Een andere factor van onzekerheid is de core recovery. Een kernopbrengst van 90% betekent dat voor 10% van het metaalgehalte van het ertslichaam een of andere aanname gedaan moet worden.

1. Men kan de onvolledigheid negeren en bijvoorbeeld een gemiddelde aannemen van de kern.
2. Men kan het als steriel beschouwen, de veiligste aanname.
3. Een andere waarde.

De waarde die men aanneemt is gebaseerd op oordeel en niet op een fysisch bewijs. Een gedeelte van de toegewezen waarde is dubieus en dit twijfelachtige gedeelte vertegenwoordigt 1 tot 5% van de totale metaalinhoud.

Kernverlies moet daarom niet in het geheel beschouwd worden, maar als individuele secties en de toe te wijzen waarde moet ^fageleid worden van het aangrenzende gesteente en een schatting van de aard van het verloren materiaal.

De dichtheid van exploratie is ^{in m.B} ook een ervaringskwestie. Nora-Marina is nu zodanig geëxploreerd dat de boorgatafstand maximaal 50 m bedraagt. Vergelijking met empirisch verkregen data leert dat dit zeker voldoende is om met deze gegevens beslissingen te nemen met betrekking tot al of niet exploitatie van dit hoogwaardige ertslichaam.

Nu de beslissing al genomen is, is het toch het overwegen waard om verder te exploreren. Nader onderzoek van het gedeelte van het ertslichaam dat in de eerste cruciale jaren van het projekt (de pay-out periode) gemijnd gaat worden verhoogt de betrouwbaarheid van de ertsreserveschatting en vermindert het risico van het hele projekt.

De ertsreserves in de prefeasibilitystudie worden onderscheiden in "fully proven" en "inferred". De tussenliggende categorie "indicated or probable" wordt niet genoemd (en is waarschijnlijk bij de eerste categorie opgeteld). Dit is voor een buitenstaander op zijn minst verwarrend.

Reedman in "Techniques in Mineral Exploration" geeft de volgende definities:

1. Proven or Measured: hoge graad van zekerheid, gewoonlijk gebruikt in mijnen waar erts aan minstens drie zijden ontsloten en grondig bemonsterd is. Deze categorie mag normaliter niet in de exploratie, waar alle informatie van boorgaten afkomstig is, worden gebruikt.
2. Indicated or probable: redelijk hoge graad van betrouwbaarheid. Erts is in drie dimensies aangetoond door boringen, putten, sleuven etc. Deze categorie wordt vaak aangeduid als "drill indicated ore".

3. De categorie inferred of possible houdt een zekere mate van onzekerheid in en wordt gebruikt in gevallen waar goede geologische aanwijzingen zijn voor continuïteit, maar slechts enkele ver uit elkaar liggende boorgaten.

Volgens deze definities hoort het grootste deel van de Mantos Blancos sulfide-reserve niet in de proven klasse thuis. Dit is drill indicated ore en behoort tot de categorie indicated of probable. Alleen de stockpiles en sommige delen van open pit en ondergrondse mijn zijn "fully proven".

4.3. Paylimits

Alle gegevens voor deze berekeningen zijn ontleend aan de pre-feasibility studie voor expansie van de sulfide-concentratorplant. Dit projekt omvat ook de exploitatie van het Nora-Marina ertslichaam.

In deze studie worden een viertal alternatieven (10-jarige projekten) vergeleken met het geval dat er geen uitbreiding zou plaatsvinden. Zo wordt het netto-resultaat van elk alternatief verkregen. Het alternatief met transport door middel van schacht met skip ophaalinstallatie blijkt het meest gunstig te zijn. De produktie en kostencijfers zijn in de tabellen 23 en 24 weergegeven.

De moeilijkheid bij het bepalen van de twee paylimits, één voor sulfide en één voor oxide is het scheiden van de indirekte kosten zoals general expenses, exploratie, afschrijving en kapitaalkosten. In tabel 24 zijn de Annual Mining kosten gesplitst aan de hand van het tonnage geproduceerd erts. De resterende kosten worden verdeeld met als verdeelsleutel de hoeveelheid geproduceerd kopermetaal.

Hieruit volgt:	Kosten Oxide-koperproduktie	:	483.233.000 \$
	Kosten Sulfide-koperproduktie:		392.623.000 \$
	Totale kosten (1982-1991)	:	<u>875.856.000 \$</u>

Produktwaarde

De waarde van de produkten wordt berekend volgens de formules van blz. 25 en 26 .

Concentraat (Sulfideplant): kopergehalte 45%, zilver 508 gr/ton, zilverprijs 8 \$/troz.

PV conc = 9,516 CUP - 88 \$/mt (\$/450 kg Cu).

Cement (Oxideplant): kopergehalte 85%

PV cem = 18,224 CUP - 276,40 \$/mt (\$/850 kg Cu).

Refined Cu oftewel Ingots (Oxideplant): kopergehalte nagenoeg 100%

PV ref = 22,046 CUP - 77,161 \$/mt (\$/1000 kg Cu).

CUP = koperprijs in U.S. \$/lb.

In tabel 27 is de produktwaarde uitgerekend met verschillende koperprijzen. De produkten van de oxideplant, cement en ingots zijn gecombineerd volgens hun aandeel in de produktie Cu metaal: 85% ingots Cu en 15% cement Cu.

Recoveries

De recovery van de sulfide flotatieplant is nagenoeg constant: 95%.

De recovery van de oxideplant is afhankelijk van het gehalte volgens grafiek 13 .

De vergelijking van deze curve is: $(LO = \% \text{ Cu Sol.}, \text{ tangens in radialen}).$

$$\text{Rec. ox} = 72,55 + (LO \cdot 100 - 0,8) \cdot 10 \cdot \tan \left(0,988 + \frac{LO \cdot 100 - 0,8}{1,2} \cdot 0,235 \right) (\%)$$

4.3.1. Paylimit Mantos Blancos 1982-1991 koperprijs 80 €/lb

Kosten = Tonnage erts * gehalte * recovery * produktwaarde

$$\text{Oxide} : 483.233.000 = 30 \cdot 10^6 \cdot \text{gehalte} \cdot \text{Rec ox} \cdot 1642,04$$

$$\text{Gehalte} \cdot \text{Rec ox} = 0,00981$$

M.b.v. de formule voor Rec.ox. volgt hieruit:

$$\text{Paylimit oxide-erts} = \underline{1,25\%} \text{ Cu Sol.}$$

$$\text{Sulfide} : 392.623.000 = 23 \cdot 10^6 \cdot \text{gehalte} \cdot 0,95 \cdot 1495,58$$

$$\text{Paylimit sulfide-erts} = \underline{1,20\%} \text{ Cu Ins.}$$

4.3.2. Paylimits Nora-Marina 1982-1991 koperprijs 80 €/lb

Om specifiek de paylimits voor het nieuwe, in de toekomst ondergronds te exploiteren ertslichaam te berekenen, wordt de produktie uitgesplitst. Tonnage en gehalte van Open Pit en Stockpile erts zijn bekend uit de feasibilitystudie. De ondergrondse mijnproduktie wordt verondersteld in zijn geheel afkomstig te zijn van Nora-Marina. De oxide- en sulfideproduktie van Sorpresa en andere ondergrondse mijnen zijn verwaarloosbaar klein in het 10-jarige projekt.

$$\text{Kosten} = (\text{Ton. OP} \cdot \text{Geh. OP} \cdot \text{Rec} + \text{Ton UM} \cdot \text{Geh. UM} \cdot \text{Rec} + \text{Ton. SP} \cdot \text{Geh. SP} \cdot \text{Rec}) \cdot \text{PV.}$$

$$\text{Oxide} : 483.233.000 = (207.886,78 + 6,35 \cdot 10^6 \cdot \text{Gehalte} \cdot \text{Rec. Ox}) \cdot 1642,04$$

$$\text{Gehalte} \cdot \text{Rec Ox} = 0,0136$$

$$\text{Paylimit Nora-Marina oxide-erts} = \underline{1,66\%} \text{ Cu Sol.}$$

$$\text{Sulfide: } 392.623.000 = (38117,25 + 20,55 \cdot 10^6 \cdot 0,95 \cdot \text{Gehalte}) \cdot 1495,58$$

$$\text{Paylimit Nora-Marina sulfide-erts} = \underline{1,15\%} \text{ Cu Ins.}$$

Opmerking met betrekking tot de gehaltec correcties

In de prefeasibilitystudie zijn de gehalten van de ertsreserves verminderd met 15%. Deze tegenvallerscoëfficiënt stamt nog uit de tijd, dat men met churndrill-apparatuur exploreerde. Deze methode neigde tot overevaluatie. De nieuwe reserves heeft men echter gevonden met de veel nauwkeurigere kernboorapparatuur.

Deze nauwkeurigheid onderzoekt men momenteel in Nora Marina. Hier wordt een horizontale kernboring uitgevoerd. Later wordt op dezelfde plaats een galerij gedreven en uitvoerig bemonsterd. De resultaten worden dan vergeleken.

Gezien de onzekerheid over de juistheid van deze 15% correctie worden in deze berekeningen alleen de ongecorrigeerde gehalten gebruikt.

4.3.3. Conclusies

Deze paylimits geven een indruk van de winstgevendheid van de voorgenomen expansie en de waarde van de twee ertstypen.

Beziet men de overall paylimits van het totale projekt dan blijkt daaruit de invloed van de verouderde en daardoor duurdere oxide-ertsverwerking. Het verschil tussen oxide- en sulfide paylimit lijkt niet groot, echter van de totale oxide-ertshoeveelheid is 60% afkomstig van stockpiles en 20% van dagbouwproductie, terwijl het sulfide-erts voor 90% afkomstig is van de veel duurdere ondergrondse winning.

Met de geplande oxide plant head grade van 1,05%, dat betekent ongecorrigeerd $100/65 \cdot 1,05 = 1,25\%$, zal men bij een koperprijs van 80 ¢/lb geen winst kunnen maken. Ten gevolge van de grote, van de stockpile afkomstige, hoeveelheid laagwaardig oxide-erts met een gehalte ver beneden de overall paylimit, is de paylimit van Nora Marina oxide hoog: 1,66%. Dit gehalte komt exact overeen met de bewezen Nora Marina oxidereserve; 6 miljoen ton met een (ongecorrigeerd) gehalte van 1,66%, bij een cut-off grade van 1,14%. De oxide koperproductie wordt gecontinueerd in de verwachting dat in de nabije toekomst de koperprijzen zullen stijgen.

Ter illustratie nog de volgende cijfers:

Totale kosten per lb Cu zonder expansie: 83,2 US¢

Totale kosten per lb Cu met expansie: 75,4 US¢

De teleurstellend lage koperprijs van 1981 (gemiddeld 79,4 ¢/lb) veroorzaakte een niet gering verlies voor Mantos Blancos in dat jaar en het is nog steeds bewonderenswaardig te noemen dat deze kleine koperproducent zich in deze voor de koperindustrie moeilijke tijd weet te handhaven.

Door de voorgenomen expansie wordt het accent verlegd op de koperconcentraatproductie. Men wil hiermee inspelen op de conclusies van een marktonderzoek van HTC Concentrates Division (31 december 1981) waarin voorspeld wordt dat de marktsituatie in de jaren 1984 en verder in het bijzonder voor Cu concentraatproducenten aantrekkelijk zal worden.

4.4. Gehalte Tonnage relatie

De reservestatus van Nora Marina afkomstig van de geologische afdeling geeft Tonnage en gemiddeld gehalte van proven en probable sulfide en proven oxide en bevat geen verdere informatie over gehalteverdeling.

In het volgende is gepoogd een gehalte-tonnage relatie samen te stellen met behulp van de gegevens opgeslagen in de computer.

Van de proven reserves worden cellen met gehalten soluble Cu en insoluble Cu opgeslagen in de computer. Elke cel wordt geïdentificeerd met behulp van de coördinaten van het centrum en de hoogte van de onderkant. Op 14 januari 1982 bevatte dit register ongeveer 4475 cellen van de Nora Marina-sector, dit wil zeggen van het blok gelegen tussen de coördinaten E 10400-11200 en N 10100-9750. Dit register is bijgewerkt tot april-mei 1981.

Met behulp van een computerprogramma werden de cellen ingedeeld in klassen van 0,1% Sol Cu respectievelijk Insol. Cu en het tonnage per interval berekend. Zie resultaat Computeruitdraai (28,29), histogrammen (30,31) en grade-tonnage grafieken (32,33). (Zie ook tekst pagina 59)

- Het register bevat niet alleen complete cellen van 12,5 x 12,5 x 12 m, 4875 ton inhoud, maar ook delen van cellen, waardoor de variatie niet berekend kan worden.

- De histogrammen vertonen twee pieken. De eerste grote piek bevat alle "waste" cellen in het beschouwde gebied. Gehaltes kleiner dan 0,3% vormen de "background" van dit ertsvoorkomen. Bemonsteringsresultaten van zulke lage gehalten zijn bovendien niet al te betrouwbaar.

Voorbij de tweede piek vertoont het histogram een lognormale vorm, waarbij Sulfide een langer gerekte afloop van de waarden heeft; een schevere verdeling.

- De reserve van Nora Marina is berekend met cut-off grades voor oxide en sulfide respectievelijk 1,14% Sol en 1,25% Insol. Uit de grade-tonnage grafieken volgt bij deze cut-off grades:

Sulfide	T+c = 33,75% ~ 7,4 milj. ton	$\mu+c = 1,94%$ Cu Ins.
Oxide	T+c = 20,05% ~ 4,4 milj. ton	$\mu+c = 1,63%$ Cu Sol.

- De feasibility studie is gebaseerd op de volgende gegevens over de Nora Marina-reserve:

Proven + Probable Sulfide	T+c = 19,7 milj. ton	$\mu+c = 2,19%$ Cu Ins.
Proven oxide	T+c = 6,0 milj. ton	$\mu+c = 1,66%$ Cu Sol.

De oxide-reserves zijn slechts weinig toegenomen. Deze hoger gelegen reserves waren in april 1981 al grotendeels verkend.

Voor sulfide-erts verschillen de getallen nogal. De verklaring is dat men sinds april 1981 voornamelijk rijker erts heeft gevonden. Dit is nog niet opgeslagen in de computer.

Daarnaast zijn van de bekende reserves 2,8 miljoen ton sulfide, 360.000 ton oxide en 1,256 miljoen ton mixto niet opgenomen in het computergeheugen. Voor deze reserves bestond in januari 1981 al een uitgewerkt projekt.

Geostatistisch gezien behoren de laatst gevonden reserves waarschijnlijk niet tot dezelfde populatie zoals die in de computer opgeslagen is. Men heeft hier te maken met een complex ertsvoorkomen bestaande uit oxide-, covellien-, borniet-, chalcopyriet- en chakosienpopulaties die eigenlijk niet samengevoegd kunnen worden in één kopergehalte verdeling.

In het volgende wordt dit opeen grafische wijze toch gedaan om tot een grade-tonnage relatie te komen waarmee de cut-off grade bepaald kan worden.

4.4.1. Lognormale verdelingen

(Uit "An introduction tot Geostatistical Methods of Mineral Evaluation" door J.M. Rendu).

Zie grafieken 34 en 35 (zie ook tekst pagina 59)

De resultaten van de computeruitdraai zijn weergegeven op logaritmisch waarschijnlijkheidspapier. De curves C1 vertonen (vanaf de tweede piek uit het histogram) een vorm waaruit blijkt dat de verdelingen genormaliseerd kunnen worden met behulp van een additieve constante β . Deze verdelingen zijn dus lognormaal met drie parameters. C2 en L1 geven dit weer. β bedraagt voor oxide 1,0 en voor sulfide 3,0. Na constructie van de variantieschaal en "locus of the mean" en parallelle verschuiving van L1 naar het referentiepunt A, dit geeft lijn L2, kunnen variantie en mean value van de logaritmische verdeling afgelezen worden.

Resultaat	Oxide	$\hat{\mu} + \hat{\beta} = 1,72$	$\hat{\beta} = 1,0$	$\hat{\sigma}_e^2 = 0,12$
	Sulfide	$\hat{\mu} + \hat{\beta} = 3,9$	$\hat{\beta} = 3,0$	$\hat{\sigma}_e^2 = 0,044$

Met deze parameters zijn de verdelingen genormaliseerd en kan de cumulatieve normale functie $\Phi(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^y e^{-t^2/2} dt$ gebruikt worden voor berekening van tonnage en gehalte van de reserves voor verschillende cut-off grades.

De volgende formules worden daarbij gebruikt:

$$T+c/T = \Phi \left\{ \frac{1}{\sigma_e} \ln \left(\frac{x_c}{\mu} \right) + \frac{\sigma_e}{2} \right\} \quad (1)$$

$$\mu+c/\mu = \frac{\Phi \left\{ \frac{1}{\sigma_e} \ln \left(\frac{x_c}{\mu} \right) - \frac{\sigma_e}{2} \right\}}{\Phi \left\{ \frac{1}{\sigma_e} \ln \left(\frac{x_c}{\mu} \right) + \frac{\sigma_e}{2} \right\}} \quad (2)$$

De median value μ moet worden aangepast voor de exploratie tijdens de tweede helft van 1981, dus de reserves uit de prefeasibility studie.

Uit formule 2 volgt:

Oxide: $\sigma_e = \sqrt{0,12} = 0,346$ $X+c = 1,14 + 1 = 2,14$ $\mu+c = 1,56 + 1 = 2,66$

$\Rightarrow \mu = 1,767 = 0,761 + 1$ (1 is de additieve constante β)

Sulfide: $\sigma_e = \sqrt{0,044} = 0,210$ $X+c = 1,25 + 3 = 4,25$ $\mu+c = 2,19 + 3 = 5,19$

$\Rightarrow \mu = 4,601 = 1,601 + 3$

Uit formule 1 volgt:

Oxide	$T+c = 6000.000$	$\mu = 1,767$	$\mu + c = 2,65$	$\sigma_e = 0,346$
	$\Rightarrow T = 25.784.000$			
Sulfide	$T+c = 19700.000$	$\mu = 4,601$	$\mu + c = 5,19$	$\sigma_e = 0,210$
	$\Rightarrow T = 32.415.000$			

Met behulp van deze aangepaste parameters voor μ en T kan nu elk tonnage en gehalte boven een bepaalde cut-off grade berekend worden.

Gezien de vorm van de histogrammen en de curves C1 van het waarschijnlijkheidspapier mogen echter alleen waarden boven 1,1% Ins en 0,8% Sol betrouwbaar worden geacht.

De resultaten voor verschillende cut-off grades zijn weergegeven in de tabellen op blz 36

Een geostatistisch gezien meer verantwoorde manier om de logaritmische variantie van de cellen te bepalen is gebruikmaking van de variantie-volume-relatie verkregen uit de monsterwaarden en de zogenaamde additiviteitsbetrekking van de variantie. Dit is echter in een kort tijdsbestek een ondoenlijke zaak voor de complete Nora Marina reserve. De tweede manier, gebruik van een semivariogram wordt in Mantos Blancos bemoeilijkt door:

- Scherpe geologische begrenzingen te weten breuken en de begrenzing van de ver-
ertsing aan boven- en onderkant van het voorkomen.
- De aanwezigheid van aparte bornietdomeinen in diorietsills.

Geostatistische modellen moeten aangepast worden voor deze situatie. De tot nu toe ondernomen pogingen om een variogram te maken gaven geen bruikbaar resultaat. Een nieuwe poging wordt momenteel ondernomen door de universiteit van Santiago. Het voorlopige doel is de bepaling van de invloedsafstand van een boorgat en daaruit volgend het aantal boormeters nodig om X ton erts aan te tonen. De basis voor exploratie en reserveberekening zijn nog steeds de verticale secties en daaruit afgeleid horizontale doorsnedes en cellen/blokken.

Grafiek 32 en 33 Tekst blz 56

Grafiek 32 is samengesteld met behulp van de laatste drie kolommen van de computeruitdraai, tabel 28.

Bij een Cut-off grade van bijvoorbeeld 1,00% (ley corte) is het tonnage met een gehalte groter dan 1% 9,1 miljoen (T + c) en het gemiddelde gehalte van dat deel van de reserve ($\mu + c$) is 1,78%.

In grafiek 32 wordt lijn 1 gevormd door het percentage T + c uit te zetten voor elke cut-off grade X_c . 9,1 miljoen ton is 41,7% van het totale tonnage in het computergeheugen. Lijn 2 geeft het gemiddelde gehalte $\mu + c$ van dit gedeelte T + c behorende bij die bepaalde cut-off grade. In dit voorbeeld 41,7% van de reserve heeft een gemiddeld gehalte van 1,78%.

Deze grafiek kan uiteraard ook andersom gebruikt worden. Bij een bepaald gehalte $\mu + c$, hoe groot moet dan de cut-off grade X_c zijn en hoe groot is dan het tonnage T + c?

Lognormale verdelingen tekst blz 57 grafieken 34 en 35

Van de verdelingen, de 1e en 5e kolom van de tabellen 28 en 29, worden de parameters geschat volgens de methode beschreven in paragraaf 2.4 van Rendu.

Op logaritmisch waarschijnlijkheidspapier, met op de verticale as de waarschijnlijkheidsschaal voor de normale verdeling en op de horizontale as logaritmisch het Cu-percentage, worden de gevonden waarden uitgezet. Vb: Volgens grafiek 28: 58,3% van de reserve heeft een gehalte kleiner of gelijk aan 1%. 87,6% heeft een gehalte kleiner of gelijk aan 2% etc. Hierdoor ontstaat Curve C_1 . Deze curve heeft in het lagere bereik, d.w.z. beneden 1,1% een afwijkende vorm. Hij knikt bij 1,1 en 0,3% (Vergelijk dit ook met de afwijkende vorm van histogram 30). De bedoeling is dat er voor het mooie logaritmische aflopende gedeelte parameters gevonden worden, waarmee later gerekend kan worden.

Het lagere gedeelte wordt verwaarloosd en is ook niet van belang voor het uiteindelijke doel: berekening van de optimale cut-off grade.

Het "correcte" deel van C_1 is een kromme, dat betekent dat de verdeling lognormaal is met drie parameters. Te weten: gemiddelde $\hat{\mu}$, variantie $\hat{\sigma}$ en een additieve constante $\hat{\beta}$.

Helaas kan β niet geschat worden met formule 2.13 van Rendu:

$$\beta = \frac{m^2 - f_1 \cdot f_2}{f_1 + f_2 - 2m}$$

waarin m het Cu % is behorende bij de cumulatieve 50%-

waarde en f_1 en f_2 de Cu percentages zijn behorende bij p en 1 - p cumulatieve frequentiewaarden, waarbij p meestal tussen 5 en 20% gekozen worden. m en f_1 liggen in het afwijkende gedeelte van curve C_1 .

Daarom wordt nu bij elke Cu % waarden van het lognormale gedeelte van de grafiek (vanaf 1,1%) een constant getal β opgeteld.

De nieuwe curve C2 die zo ontstaat is bij de juiste waarde van β een rechte lijn. Voor Sulfide is β gelijk aan 3 en voor oxide is β 1.

Om uit deze grafiek het gemiddelde μ en de logaritmische variantie σ_e^2 te bepalen dient men een variantieschaal en de zogenaamde "locus of the mean" - lijn te construeren. Hoe dat dient te gebeuren staat in paragraaf 2.4.3 ^{Rendu} duidelijk beschreven. Als uitgangspunt voor de constructies is in dit geval punt A gekozen met een m-waarde van 1% Cu.

4.5. Berekening optimale Sulfide cut-off grade

In dit hoofdstuk wordt uitgegaan van de vastgestelde produktie aan oxidekoper. Er wordt verondersteld dat de gebruikte cut-off grade van 1,14% voor oxide-erts economisch optimaal is. Zoals uit de paylimits blijkt is de winst echter nihil bij een koperprijs van 80 ¢/lb.

De maximale capaciteit van de sulfide plant van 27 miljoen ton per jaar is afgeleid van de beperkte beschikbaarheid van water. In de berekening van de optimale sulfide cut-off grade wordt uitgegaan van een capaciteit van 2,55 miljoen ton per jaar.

De feasibility studie is gebaseerd op de reservestatus van 1 januari 1982.

Deze luidt: Sulfide	Proven	18,5 milj. ton	1,81% Cu Ins.
	Balance (stockpile)	0,5 milj. ton	1,20% Cu Ins.
	Inferred (probable)	5,4 milj. ton	1,82% Cu Ins.
	Totaal	24,4 milj. ton	1,80% Cu Ins.

Omgerekend naar ongecorrigeerd gehalte $100/85 \times 1,80 = 2,12\% \text{ Cu}$.

Om de berekening in overeenstemming te brengen met deze gegevens wordt de grade-tonnagerelatie aangepast aan deze ertsreserve met behulp van de formules van blz 57. In formule 2 wordt nu voor $\mu + c$ 5,12 (=2,12 + 3) ingevuld.

(\bar{v} blijft 0,21, $X_c = 1,25 + 3 = 4,25$). Uit deze formule volgt nu: de gemiddelde waarde van de ertsreserve is 1,46%. Substitutie van 4,46 en $T = 24,4 \times 10^6$ in formule 1 geeft de totale ertshoeveelheid. $T = 44,36 \times 10^6 \text{ Ton}$.

Met deze waarden en dezelfde formules kan nu de ertsreserve bij verschillende cut-off grades berekend worden.

Tabel 37 geeft de resultaten van de complete berekening.

Kolom 1: Cut-off grade X_c

Kolom 2: Tonnage erts $T + c$

Kolom 3: Gemiddeld gehalte $\mu + c$

Kolom 4: Reserve uitgedrukt in levensduur van het project, waarbij werd uitgegaan van een doorzet van 1,3 miljoen ton in de eerste twee jaar en daarna 2,55 miljoen ton per jaar.

Kolom 5: Totale opbrengst bij een koperprijs van 80 ¢/lb (1495,58 \$/mt Cu) en een recovery van 0,95. Dus Reserve = $T+c \cdot \mu+c \cdot 0,95 \cdot 1495,58$.

Kolom 6: Kosten (zie tabel 38) bestaande uit directe produktiekosten, gesommeerd van elk jaar, vermeerderd met een vast bedrag voor afschrijving en kapitaalkosten. Voor de jaren 1992 en verder worden dezelfde directe produktiekosten genomen als in jaar 1991.

De afschrijving bedroeg oorspronkelijk (dus met oxide meegeteld) 86.221.000 \$ waarvan ca 75 miljoen voor rekening van de sulfideplant-expansie komt. Afschrijving en kapitaalkosten bedragen dan 75 milj. + 16,926 milj. = 91.926.000.

Kolom 7: Exploitatie-overschot = Opbrengst - Kosten.

Kolom 8: Cash flow per 1/10 jaar.

Kolom 9: Present Value van de Cashflow met een discountpercentage van 16%.

Resultaat

Het optimum wordt in kolom 9 gevonden bij een cut-off grade van 1,60%.

De Present Value van het Cash Surplus bedraagt dan 100 miljoen dollar. Levensduur van het projekt: 7,9 jaar.

Dit resultaat, Cut-off 1,60%, is tamelijk hoog. Zou dit inderdaad in de praktijk toegepast worden, dan lijkt dat veel op roofbouw van het Nora Marina ertslichaam.

De methode waarmee dit resultaat gevonden werd, is echter goed. In de praktijk kunnen nog veel variaties op de uitgangspunten toegepast worden, zoals gevoeligheidstests voor kosten, gehalten, koperprijs etc.

Bijvoorbeeld een verhoging van de koperprijs tot 120 £/lb doet het optimum verschuiven naar 1,40%. Dit optimum is echter veel minder duidelijk.

Opvallend is ook dat de Present Value met discountpercentage 0% (zie kolom 7) wel weer in de buurt ligt van wat gevoelsmatig de optimale cut-off zou kunnen zijn nl. 1,20%.

Hoofdstuk 5 Toekomstige exploitatie Nora-Marina

	blz
5.1. Keuze Exploitiatiemethode	64
5.1.1. Caving methoden	64
5.1.2. Open Stoping methoden	64
5.1.3. Cut en fill mijnbouw	65
5.2. Postpillar Cut en Fill winning	66
5.2.1. Concept van post pillars	66
5.2.2. Pillardimensies en gesteentemechanisch onderzoek	66
5.2.3. Ontsluiting met serviceramps	67
5.2.4. Gecombineerde ventilatie-vulschachten	67
5.2.5. Cut en fill winning	67
* 5.3. Transportsystemen	71
5.3.1. Trucktransport	71
5.3.2. Schacht-skip installatie	72
5.3.3. Conveyor belt	73
5.3.4. Investerings en operating kosten	74
5.3.5. Conclusie	75
** 5.4. Voorbereiding en ontsluiting	83
5.5. Overgangsjaren: produktie en transport	84
5.5.1. Produktieprogramma 1982/1983	84
5.5.2. Transportbehoefte 1982/1983	84
* 5.2.6. Ventilatie	68
** 5.3.6. Een 4 ^e transportalternatief: <i>Skip-schacht + conveyor belt.</i>	77

5.1. Keuze Exploitatiemethode

Tijdens de exploitatieplanning van het nieuwe ertslichaam Nora-Marina heeft men ook een studie gemaakt van mogelijk toepasbare mijnbouwmethoden, waarbij met de volgende factoren rekening werd gehouden:

- Hoge extractiegraad van het erts
- Weinig verdunning met steriel.
- Optimaal gebruik maken van de kennis van geologische omstandigheden, gesteentesterkte en stabiliteit.
- Veiligheid
- Hoge produktiviteit
- Lage investerings- en produktiekosten
- Gebruikmaken van personele vaardigheid.

Karakteristieke kenmerken van Mantos Blancos zijn:

- De sterkte van erts en nevengesteente is zeer goed. Ondersteuning wordt praktisch nergens toegepast. Er zijn nauwelijks problemen met de stabiliteit van stopes en galerijen. Pogingen om sublevelcaving toe te passen faalden vanwege grote problemen met het starten van het caving proces.
- In de overgangszone tussen oxide- en sulfide erts zijn deze twee ertstypen intensief met elkaar vergroeid. Dit vraagt om een mijnbouwmethode met een hoge selectiviteit, gebaseerd op secundaire exploratiegegevens.

In deze studie passeerden de volgende methoden de revue.

5.1.1. Caving methoden

Sublevel caving is eerder in Mantos Blancos toegepast met slecht resultaat. Recovery is te laag en de verdunning bedroeg ongeveer 30%. Sublevel caving en blockcaving komen niet in aanmerking.

5.1.2. Open stoping methoden

Deze worden in het algemeen toegepast in ertslichamen met gunstige gesteentemechanische eigenschappen: hard erts en nevengesteente en een niet al te hoge gesteentedruk.

5.1.2.1. Room en Pillar mijnbouw

Voornamelijk toegepast in horizontale gelaagde voorkomens. In Nora-Marina niet toepasbaar vanwege irregulariteit van de verertsing en de te grote verticale dikte.

5.1.2.2. Sublevel Stoping

a. Met grote diameter boorgaten.

Sublevel stoping met boorgaten met diameter 90-170 mm kan worden toegepast in mijnen met hard gesteente, waar in zeer grote stopes gemijnd kan worden.

De sterkte van het gesteente in Mantos Blancos veroorlooft deze goedkopere methode wel, maar bestudering van de geologische kaarten van Nora-Marina wijst uit dat er nauwelijks genoeg ruimte is voor dergelijke grote stopes en pillars. Bovendien zou men voor een betere recovery toch supplementaire mijnbouwmethoden moeten ontwikkelen langs de grenzen van de verertsing. Desalniettemin zal men rekening moeten houden met lage selectiviteit en veel verdunning.

b. Met kleine diameter boorgaten.

Deze methode wordt tegenwoordig met grote efficiency algemeen toegepast in Mantos Blancos. Gesteentemechanisch zijn er geen problemen om grote holruimten open te houden. De operating kosten zijn relatief laag. Met de huidige ervaring van staf en mijnwerkers en de aanwezige machinerie is dit een bruikbaar alternatief voor de toekomstige exploitatie. Kleine verbeteringen zouden nog gerealiseerd kunnen worden door bijvoorbeeld de inzet van hydraulische fandrillapparatuur.

In het midden van het ertslichaam kan verdunning vermeden worden, met uitzondering van ingesloten steriel. Dichter bij de grenzen van de verertsing kan een zekere verdunning met steriel niet vermeden worden.

5.1.3. Cut en fill mijnbouw

De voornaamste redenen om deze methode toe te passen zijn de geringe verdunning en de hoge selectiviteit en recovery van het erts. In dit geval geeft deze methode grote economische voordelen. Met een hoge mechanisatiegraad en moderne apparatuur kan deze methode zelfs qua produktiekosten concurreren met de hiervoor genoemde sublevel stoping. Ook de aanwezigheid van geschikt droog vulmateriaal in Mantos Blancos maakt deze methode interessant.

Gezien de horizontale uitgestrektheid van Nora-Marina is een patroon van post-pillars noodzakelijk om het dak te ondersteunen. Men schat dat het percentage erts dat in de vorm van pillars achterblijft niet meer dan 10-16% zal zijn. Een gesteentemechanisch onderzoek zal dit moeten bevestigen.

Met deze methode is het mogelijk de contouren van de verertsing nauwkeurig te volgen. Oxide- en sulfide-erts kunnen gescheiden gewonnen worden en ingesloten steriel dat geschoten dient te worden om achterliggend erts te bereiken kan meteen als vulling op de plaats achtergelaten worden.

Het enige wat nieuw is, is de vulling, waarvoor men droog materiaal aangevuld met tailings van oxide en sulfide plant kan gebruiken.

Gezien de complexe structuur van het ertslichaam, onregelmatigheid en vergroeiing van oxide en sulfide en de gestelde eisen t.a.v. recovery en verdunning beschouwd men cut en fill mining als de meest geschikte methode voor exploitatie van Nora-Marina.

5.2. Post pillar cut en Fill winning

5.2.1. Concept van post pillars

Het fundamentele principe van post-pillar ontwerp is, dat de veiligheidsfactor van de pillars ongeveer 1 bedraagt. M.a.w: de lange slanke pilaren (zie fig.39) zijn ontworpen met de bedoeling dat ze op den duur zullen bezwijken. Dit bezwijken dient echter plaats te vinden onder het niveau van het vulmateriaal. De vulling introduceert een horizontale steundruk die uitzetting van de pillar tegengaat en de pillar na bezwijken toch voldoende reststerkte geeft om de verticale belasting te kunnen opnemen.

De pilaren zijn vierkant met de centra in een vierkant patroon.

Voordelen van deze methode:

- Maximale extractie door minimale pillarafmetingen. Zie grafiek 40 voor de hoeveelheden erts die achterblijven bij verschillende afmetingen.
- Er is geen aparte ploeg en apparatuur nodig voor secundaire winning van de ribpillars. Pillarerts wordt simultaan met primair erts gewonnen, tegen primaire produktiekosten.
- Produktie en vulling vindt plaats op één verdieping. Gebruik van droge vulling heeft als voordelen: Geen wateroverlast, geen wachttijd voor "settling" van de vulling en gebruik van dezelfde LHD apparatuur voor verspreiden van het vulmateriaal.

5.2.2. Pillardimensies en gesteentemechanisch onderzoek

Van bijzonder groot belang is het bepalen van de afstand tussen pillarcentra.

Als eenmaal met de exploitatie begonnen is kan dit niet meer veranderd worden.

Pilaardikte kan eventueel wel nog veranderd worden.

Gesteentemechanisch onderzoek is noodzakelijk om deze dimensies te bepalen en zal bestaan uit:

in de planningfase

- Bepaling van de éénassige druksterkte van boorkernen.
- In kaart brengen van breuksystemen en grotere schuifvlakken.
- Spanningsmetingen ondergronds om richting en grootte van het spanningsveld te bepalen. Hieruit wordt de vereiste pilaarsterkte bepaald waarmee in eerste instantie de layout van de testmijn wordt vastgesteld.

testmijn zie principal layout figuur 4/

Vanaf mei 1982 wordt gestart met de Nora testmijn (niveau 845 m), een 300.000 tons project om de uiteindelijke postpillar layout te bepalen.

Vullen geschiedt pas nadat een complete laag van 5 m dikte uitgemijnd is.

Onderzocht wordt de deformatie van de pilaren in horizontale en verticale richting en de doorzakking van het dak.

full scale mining

Ook dan zal men deformatiemetingen uitvoeren en systematisch het gedrag van pilaren en dak observeren. Dit is vooral belangrijk wanneer de stope de volle breedte van Nora-Marina benadert.

Voorlopige afmetingen waarmee nu in de planningfase rekening wordt gehouden: dikte pilaren 10 m, afstand centra 25 m, hoogte van de slices 7 m. De ontginnings- en vulvolgorde is weergegeven in figuur 42 t/m 48 .

5.2.3. Ontsluiting met serviceramps

Nora Marina is gelegen tussen 710-920 m in het westen (Nora) en 620-800 m in het oosten (Marina). De horizontale uitgestrektheid is 350 m (N-Z) x 650 m (O-W).

Twee spiraalvormige serviceramps zijn nodig, één tussen Nora en Marina en de ander oostelijk van Marina, buiten de Marina breuk. Elke ramp verzorgt de toegang tot ongeveer 50% van de ertshoeveelheid en wordt vanuit bestaande verdiepingen omhoog en omlaag gedreven. De helling van de ramps is 14%. Ze zijn niet geschikt voor trucktransport. Naast elke ramp worden 2 of 3 orepasses vanuit de hoofdtransportverdieping op 610 m naar boven gedreven.

Vanuit de ramps worden galerijen gedreven die de toegang tot de stopes vormen; Vanuit de Nora-ramp in oostelijke én in westelijke richting met een gemiddelde lengte van 50 m, vanuit de Marina-ramp alleen in westelijke richting en 70 m lang.

5.2.4. Gecombineerde ventilatie-vulschachten

Elk exploitatiegebied wordt voorzien van een aantal schachten die een dubbele functie hebben:

- Als stortkoker voor vulmateriaal dat in de mijn door scooptrams wordt verspreid.
- Als ventilatieschacht waarbij verse lucht via de 856 m verdieping wordt aangevoerd en beneden in de stopes gedistribueerd wordt middels een secundair ventilatiesysteem van ventilatoren en tubes.

Voor principeschets zie figuur 49 .

5.2.5. Cut en fill winning

De winning zal geschieden door middel van benching met horizontale, parallelle boorgaten. Boordiepte 4,5 m, diameter 57 mm en ANFO springstof zie voorbeeld blz 50 .

In de testmijn zullen verschillende boorpatronen, laad- en ontstekingschema's getest worden. Speciale aandacht zal men moeten besteden aan de randgaten om beschadiging van dak en pillarwanden te voorkomen.

Benodigde apparatuur: 2 hydraulische boormachines met boorarmen en feeders aangepast aan de uiteindelijke frontoppervlakte en boordiepte.

Laden en transport van erts en vulling: 10 scooptrams 8 yrd³. 4 Voor ertsladen, 3 voor fill mucking (met bucket met uitschuifplaat) en 3 machines in reserve. Service eenheden: 6 stuks uitgerust met platforms voor laden van springstof, scaling en aanleggen van pijpleidingen en ventilatietubes.

2.6. Ventilatie Nora-Marina

Primair ventilatie systeem

In de toekomstige Nora-Marina mijn zal op drie plaatsen diesequipment, de grootste verbruiker van ventilatielucht, actief zijn.

- Exploitatiegebied Westelijk: Nora LHD Scooptrams
- Exploitatiegebied Oostelijk: Marina LHD Scooptrams
- Transportverdieping 610 m : Kirunatrucks

Daarom is het primaire ventilatiesysteem verdeeld in drie subsystemen, die van elkaar en van ruimtes waar geen ventilatie noodzakelijk is, gescheiden worden door luchtsluizen.

De hoofdingang voor verse lucht voor alle drie subsystemen is de 856 meter verdieping. Deze verdieping staat aan twee zijden in verbinding met de open lucht: in oostelijke richting met de bodem van Tercera Open Pit, in westelijke richting met een ventilatieschacht.

De gebruikte lucht wordt afgevoerd door de skipschacht en reeds bestaande ventilatieopbraken en ramps. De ventilatie is ook hier blazend.

Ventilatiebehoefte:

Diesequipment	Kiruna 500	500 x 2,83 m ³ /min	= 1400 m ³ /min.
	Wagner ST 8	250 x 2,83 m ³ /min	= 700 m ³ /min.

Voor servicetrucks wordt per scooptram 20% extra geteld
⇒ 850 m³/min.

Blasting fumes Voor het verwijderen van explosiegassen en stof, zodanig dat men na 20 min. weer aan het front kan werken, is per kg ANFO 1,9 tot 3,1 m³ verse lucht per minuut nodig.

Voor één afslag: $4,3 \times 15 \times 7 \times 2,7 \text{ ton/m}^3 = 1220 \text{ ton}$
 $1220/7 = 175 \text{ kg ANFO} \times 2 \text{ m}^3/\text{min} = 350 \text{ m}^3/\text{min}.$

Aangezien deze hoeveelheid altijd aanwezig is op plaatsen waar Scooptrams werken, hoeft men hier geen rekening mee te houden.

Human requirements : Minimaal 0,6 m³/min per man. Verwaarloosbaar.

Exploitatiegebieden Nora en Marina

Gewoonlijk zijn in elk exploitatiegebied 3 à 4 Scooptrams in operatie, maximaal 5.

Ventilatiebehoefte: gemiddeld 2550-3400 m³/min. Maximaal 4250 m³/min.

Verse lucht voor het Nora-gedeelte wordt aangevoerd door de galerij op 856 m (aanvankelijk aangelegd voor exploratiedoeleinden) en via ventilatieschachten naar het exploitatiegebied geleid. Voor het Marinagedeelte moet van de Tercera Pit een ventilatiegalerij in zuidelijke richtingen worden gedreven. Van hieruit ook door middel van ventilatieschachten naar het exploitatiegebied.

Vanuit deze schachten wordt de lucht middels een secundair ventilatiesysteem van ventilatoren en flexibele tubes naar de werkpunten geleid.

Er werd voorgesteld deze intrekkende ventilatieschachten ook als stortkoker voor de vulling te gebruiken (principeschets 49). Belangrijk nadeel hiervan is dat zo'n schacht tijdens, maar ook aanzienlijke tijd na het storten, voor ventilatie onbruikbaar is door stofontwikkeling en blokkering van de luchtstroom. Dat betekent dat er meer van die schachten nodig zijn, waardoor de kostenbesparing door het combineren van vullen en ventilatie, gedeeltelijk verloren gaat. Mijns inziens kan men dit toch beter gescheiden houden.

Men kan volstaan met één ventilatieschacht van 3 x 3 m per exploitatiegebied. Ervan uitgaande dat men dezelfde ventilatoren blijft gebruiken dan moeten in zo'n ventilatieschacht 3 50 HP ventilatoren parallel geïnstalleerd worden. Capaciteit wordt dan 4500 m³/min en de lichtsnelheid in de schacht 8,3 m/sec. Return air van Nora wordt via de service ramp en de bestaande schacht (locatie 10700E, 10.100 N) afgevoerd. Afgewerkte lucht van Marina wordt via de bestaande Marina Service ramp naar de Marina Open Pit afgevoerd.

610 m transportverdieping

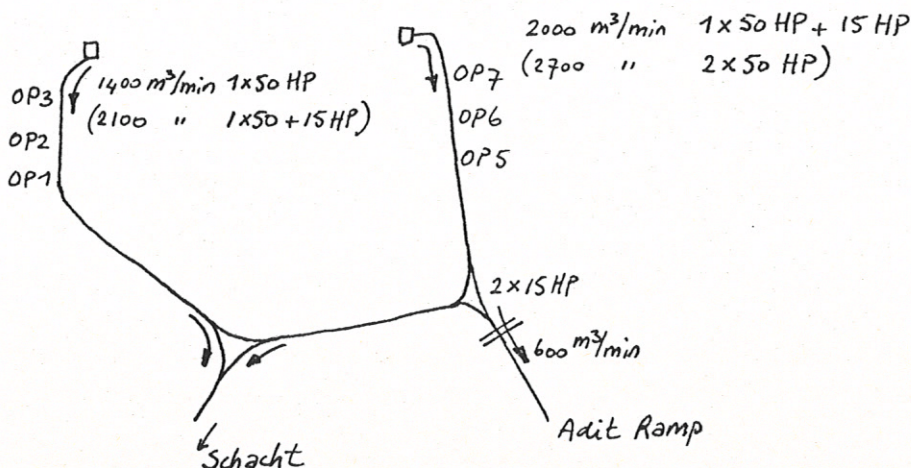
Ventilatiebehoefte: Afhangelijk van de plaats van de skipschacht.

Skipschacht bij de Sulfideplant; 3 Kirunatrucks 4200 m³/min.

Skipschacht bij het ertslichaam, 2 Kirunatrucks 2800 m³/min.

Verse lucht wordt vanuit de 856 m verdieping via 2 ventilatieschachten, één bij elke groep orepasses, aangevoerd. Deze twee luchtstromen komen in de transportgalerij bij elkaar en verlaten de mijn via brekerstation en skipschacht.

In de oostelijke tak bij OP 4, 5 en 6 (kaart 59) worden twee kleine ventilatoren (300 m³/min elk) en tubes geïnstalleerd die de Adit ramp van verse lucht voorzien (600 m³/min).



#50A

In de bijlage is zeer schematisch het primaire ventilatiesysteem weergegeven. Zeer schematisch omdat de uiteindelijke layout van de mijn nog niet bekend is. Tot nu toe was de ventilatie betrekkelijk eenvoudig en werd door de veiligheidsafdeling uitgevoerd. Met de ontwikkeling van de diepere en grotere Nora-Marina-mijn wordt de ventilatie ingewikkelder en dient men een aparte afdeling op te richten die hiervoor verantwoordelijk is.

5.3. Transportsystemen

Voor de exploitatie van het dieper gelegen Nora-Marina erts met de voorgenomen hogere produktiecapaciteit van ruim $2\frac{1}{2}$ miljoen ton per jaar heeft men zich afgevraagd welk transportsysteem te prefereren is. In deze studie wordt een voortgezet gebruik van trucktransport vergeleken met schacht-skip transport en transport door middel van een transportbandensysteem.

5.3.1. Trucktransport

De bestaande ramp met een helling van 10% vormt de verbinding tussen het maaiveld op 912 m en de orepasses 8, 9 en 10 van Marina profunda op 733 m. In deze tunnel kunnen trucks elkaar slechts op een paar plaatsen passeren.

Na verlenging van deze ramp tot het hoofdproduktieniveau op 610 m zou de capaciteit niet voldoende zijn om een vereiste produktie van 8500 ton per dag te realiseren. Met gebruik van 40 tonners betekent de gestelde produktie dat er elke $4\frac{1}{2}$ minuut een truck de mijn zal verlaten en uiteraard ook zal binnenrijden. Daarnaast moeten ook servicevoertuigen van de ramp gebruik maken.

Om een regelmatig ertstransport én éénrichtingsverkeer te realiseren is het onvermijdelijk dat er een tweede tunnel wordt aangelegd. Deze nieuwe tunnel kan met een helling van 1:7 (14%) functioneren als ingang en zal afgediept worden tot het laagste laadniveau 610 m. De bestaande ramp wordt met dezelfde gradiënt 1:10 (10%) eveneens tot de 610 m verdieping doorgetrokken en zal functioneren als exit ramp. Om de opvoerhoogte van het erts te minimaliseren worden ook verbindingen aangelegd op de 710 m verdieping, van waaruit het grootste deel van het Nora-erts wordt afgevoerd, en de 856 m verdieping voor het hoger gelegen Nora-erts.

In de berekeningen (zie bijlage 54) wordt uitgegaan van Kirunatrucks K501, hoewel de bestaande tunneldoorsnedes, die in de uitbreiding gehandhaafd zullen worden, ook gebruik van conventionele trucks toestaan. Dit kan in overweging genomen worden aangezien in dit alternatief de aanschaf van nieuwe trucks vereist is. In totaal zijn 13 trucks nodig, waarvan er 8 à 9 drie diensten per dag erts opvoeren. De trucks dienen een laadcapaciteit van 40-50 ton te hebben en het is wenselijk dat alle trucks ongeveer dezelfde snelheid halen bij geladen transport op een 10% helling.

In dit alternatief hoeft men geen primaire breker ondergronds te installeren, de ventilatiebehoefte is echter aanzienlijk hoger.

Bij dit alternatief bestaat de constructie voornamelijk uit het drijven van galerijen en het installeren van chutes en ventilatoren. Men kan onmiddellijk beginnen met het drijven van de transporttunnels. Dat zal ongeveer 12 maanden in beslag nemen. Daarna kan de exploitatieschaal stapsgewijs vergroot worden totdat na 5 maanden orepasses en primair ventilatiesysteem voltooid zijn. Volledige produktiecapaciteit wordt dus na 17 maanden bereikt.

5.3.2. Schacht-skip installatie

5.3.2.1. Locatie (zie figuur 59)

Elke locatie van de schacht in de buurt van het ertslichaam kan restricties opleveren met betrekking tot toekomstige exploitatie van gemineraliseerde zones die nog ontdekt kunnen worden. Een betere plaats is de directe omgeving van de sulfide plant en de elektriciteitscentrale. Voordat deze installaties gebouwd werden is dit gebied tot een diepte van 200 meter verkend, waarbij geen erts gevonden werd. Deze locatie vormt geen belemmering voor toekomstige uitbreiding. Bovendien kan het erts direkt vanuit de schachtbok naar de stockpiles getransporteerd worden zonder tussenkomst van trucks. Ook uit het oogpunt van electriciteitstoevoer en onderhoud is dit een gunstige plaats.

Ondergronds zal de schacht door middel van een transportgalerij op 610 meter met Nora-Marina verbonden worden. De afstand tot het zwaartepunt van Nora-Marina is ongeveer 1 km. Trucktransport wordt aanbevolen in deze galerij vanwege de flexibiliteit als het systeem eventueel ten gevolge van nieuwe ertsontdekkingen aangepast zou moeten worden. Ook bestaat de mogelijkheid andere gebieden in het westen, bijvoorbeeld Sorpresa, met een galerij in Noord-Westelijke richting te verbinden. Deze afstand bedraagt ook ongeveer 1 km. In deze studie is daar echter geen rekening mee gehouden. Het bestaande transportsysteem van Sorpresa blijft gehandhaafd.

5.3.2.2. Technische beschrijving

De ophaalinstallatie is een dubbel-skip koepeinstallatie (friction hoist) met 20 ton payload per skip. Deze installatie wordt ontworpen voor een capaciteit van 700 ton per uur, dit wil zeggen dat de dagproductie van maximaal 9000 ton/dag in 13 uur oftewel 2 diensten omhooggetrokken kan worden. Dat laat ruim voldoende tijd over voor onderhoud. Met een skipsnelheid van 7m/sec bedraagt de cyclustijd bij een ophaalhoogte van 425 m 105 sec (zie blz 58). De totale massa van skips, kabels en een skiplading is 100 ton.

De schachtbok heeft een totale hoogte van 55 à 60 m. De machinekamer wordt in de top geplaatst. Tussen machinekamer en lospositie moet een afstand van 20 meter overblijven als beveiliging tegen overtrek. Boven het maaiveld is een hoogte van 15 m vereist voor de constructie van twee bunkers en losinstallatie. Sulfide-erts wordt per band naar de stockpile voor de secundaire brekers vervoerd. Oxide-erts wordt vanuit de tweede bunker per band naar een stockpile en van daaruit per truck naar de oxideplant vervoerd.

Dankzij het competente gesteente is het mogelijk een schacht met rechthoekige doorsnede van 4 x 6 m te construeren die alleen in het bovenste deel bekleed wordt met beton. Op de bodem bij het laadstation worden vaste geleidingsbomen geïnstalleerd, terwijl in de rest van de schacht kabelgeleiding voldoet. Verder bevat de schacht alleen nog voedingskabels voor de primaire breker en de laadinstallaties ondergronds. Indien gewenst kan men bovenop één van de skips een kooi plaatsen voor materiaal- en personentransport.

Een primaire breker zal geïnstalleerd worden in de transportverdieping op 610 m. Onder de breker komen twee bunkers, één voor oxide- en één voor sulfide-erts. De capaciteit van de breker met feeder wordt minimaal 800 ton/uur zodat trucks meteen na aankomst kunnen lossen. Brekeropening 60" x 50" en setting 200 mm.

In het laadstation worden twee banden aangelegd die elk één van de twee meetbunkers (measure pockets) voeden. Feeders (4 in totaal, twee vanuit elke bunker) en banden hebben beide een capaciteit van 400 t/uur en worden door signalen van de measure pockets bediend. Het laadstation werkt aldus volledig synchroon met de skips. Voor layout van de 610 m verdieping met schacht en de schachtbodem zie figuren 60 en 61 .

5.3.2.3. Constructietijdschema

Het uitgraven van brekerruimte, bunkers, laadstation en het drijven (opbreken) van de schacht wordt vanuit de 610 m transportverdieping uitgevoerd. Vanuit deze verdieping wordt een serviceramp naar de bodem van de schacht gedreven die onderweg ook aansluit op het laadstationniveau. De volgorde van constructie zal zijn: Verlengen van de bestaande ramp tot het 610 m niveau en drijven van de transportgalerij tot aan de serviceramp. Om zo snel mogelijk met de schacht te kunnen beginnen dient eerst deze serviceramp tot aan de schachtbodem gedreven te worden. De schacht zal met Alimak-raisers gedreven worden (full face raising).

Met een vooruitgang van 100 m per maand zal het construeren van 400 m schacht 4 maanden duren. In totaal, inclusief de tijd nodig om de schachtbodem te bereiken, 20 maanden. Gedurende deze tijd worden bovengronds schachtbok met ophaalinstallatie en bunkers geïnstalleerd en ondergronds orepasses, ventilatiesysteem, brekerruimte en laadstation. Nadacht de schacht voltooid is verwacht men nog 4 maanden tijd nodig te hebben voor resterende installatie en opstarten. Het complete transportsysteem is dus operationeel na 24 maanden.

5.3.3. Conveyor belt

5.3.3.1. Locatie

In dit alternatief wordt het laadstation zo dicht mogelijk bij het zwaartepunt van de ertslichamen geplaatst, terwijl het eindpunt van de band direkt wordt aangesloten op het breekcircuit van de sulfideplant. De afstand tussen beide punten is te kort voor één recht band en dus zal het opgesplitst moeten worden in twee delen die onder een hoek ten opzichte van elkaar liggen.

Westelijk van de lijn tussen sulfideplant en zwaartepunt van Nora-Marina bestaat er een goede kans, gezien de huidige stand van exploratie, dat hier nieuwe ertsreserves gevonden zullen worden. Oostelijk van deze lijn wordt deze kans veel geringer geacht, zeker wanneer men oostelijk van de NW-ZO lopende Marina-breuk blijft. Het laadstation werd aan de noordelijke grens van Marina geplaatst en het lagere rechte stuk van het transportbandensysteem loopt bijna parallel aan de Marina-breuk, op veilige afstand oostelijk hiervan.

De andere arm komt oostelijk van de sulfidecrushingplant aan de oppervlakte. Boven het ondergrondse laadstation wordt een primaire breker geïnstalleerd die identiek is aan de breker van het schacht-skipalternatief. Het erts wordt vanaf Nora- en Marina orepasses via een transportgalerij op de 610 m verdieping aangevoerd met trucks. Deze galerij kan eventueel ook naar Sorpresa in het westen verlengd worden.

5.3.3.2. Beschrijving

De transportband wordt in een hellende tunnel geïnstalleerd met een gradiënt van 1:6 (17%). Dit bemogelijkt de inzet van servicevoertuigen voor onderhoud van de banden. De gradiënt kan verhoogd worden wat resulteert in lagere investeringen, maar niet aanwijsbaar lagere operating kosten. De nadelen van een grotere helling wegen niet op tegen de marginale besparingen op investeringskosten.

1:6 (17%)	4.510.000	US \$	
1:5 (20%)	4.250.000	US \$	Verschil is 260.000 \$
1:4 (25%)	3.950.000	US \$	Verschil is 560.000 \$

De doorsnede van de tunnel is 5,5 x 4 meter, waardoor onderhoudsverkeer naast het transportband mogelijk is. De capaciteit van het systeem is 700 ton/uur om dezelfde reden als het schacht-skip alternatief. Twee aandrijfeenheden worden geïnstalleerd, één aan de oppervlakte en één in het kruispunt van de twee armen. De bovengrondse installatie bestaat uit chutes en twee ertsbunkers die verbonden worden met de stockpiles. Bovengronds wordt ook de controlekamer gebouwd.

5.3.3.3. Constructietijdschema

Met het drijven van de conveyorramp kan via de bestaande ramp meteen gestart worden. Met verwacht dat deze ramp in 10 maanden voltooid kan zijn. Totale tijd nodig voor het uitvoeren van ondergrondse werken: 13 maanden.

Het kritieke pad gaat in dit alternatief via engineering- en aankoopactiviteiten en is sterk afhankelijk van de levertijden voor breker en transportbandeninstallatie. Na ontvangst van deze apparatuur verwacht men een installatie- en inwerktijd van 4 maanden. De totale tijd voor constructie totdat het systeem operationeel is, bedraagt 19 maanden.

5.3.4. Investerings en Operatingkosten

Voor gedetailleerde uitwerking van de kosten zie blz 51 t/m 58

Investeringskosten (.000 US \$)	<u>Schacht</u>	<u>Transp. band</u>	<u>Truck</u>
Verlengen bestaande ramp	1000	1000	1000
Additionele ramps	-	-	3790
Ore passes	1630	1630	1330
Transportverdieping	1910	1050	-
Brekerstation	1500	1500	--
Skip-schacht	4945	-	-
Transportbanden	-	6200	-
Primair ventilatiesysteem	685	467	785
	<hr/>	<hr/>	<hr/>
Totaal	11670	11874	6905
Jaarlijkse afschrijving, 20%, 10 jaar	2783	2826	1647

Operating kosten ($2,5 \cdot 10^6$ miljoen ton per jaar) in US \$ per ton.

Kapitaalkosten	1,11	1,13	0,66
Trucktransport	0,49	0,27	1,97
Breken	0,11	0,11	0,11
Hoisting	0,18	0,18	-
Ventilatie	0,02	0,02	0,18
	<hr/>	<hr/>	<hr/>
Totaal	1.91	1,71	2,92 \$/ton

5.3.5. Conclusie

Zoals verwacht kon worden zijn de investeringen voor permanente installaties hoger voor de skip-schacht en conveyer-belt alternatieven. Daarbij moet wel opgemerkt worden dat in het truckhaulage alternatief de aanschafkosten van de trucks bij de operatingkosten zijn geteld.

De transportkosten van het truckhaulage alternatief zijn ongeveer 1 dollar per ton duurder. Uit economisch oogpunt is dit alternatief niet interessant en wordt verder buiten beschouwing gelaten.

Het verschil tussen de andere alternatieven is slechts 20 cent per ton in het voordeel van conveyer belt. Dit verschil is voornamelijk te wijten aan de grotere trucktransportafstand van het skip-schachtalternatief. De transportafstand op de 610 m verdieping is hier ongeveer 4x zo groot. Andere voordelen van de conveyer belt: de kortere constructietijd, 10 versus 24 maanden en de lagere elektrisch vermogensbehoefte, 2360 tegen 3570 KW. Dat laatste is te wijten aan het grote vermogen nodig voor acceleratie van de skips.

Het grote voordeel van het skip-schacht alternatief is dat er minder restricties zijn m.b.t. toekomstige planning. De layout van dit transportsysteem kan makkelijk aan bijna elke nieuwe ertsvondst aangepast worden.

Met name bij ertsvondsten beneden het 600 m niveau is de aanwezigheid van een permanente skip-schacht gunstig.

Vanwege deze flexibiliteit is de keuze gevallen op het skiphoisting alternatief.

Medio 1984 hoopt men de volledige produktiecapaciteit bereikt te hebben.

3.6. Een vierde transportalternatief voor Nora-Marina

3.6.1. Locatie schacht-skip installatie (zie Plano General 59)

De in de voorbereidende studies gekozen locatie dichtbij de sulfideplant is discutabel vanwege de grote afstand tot het zwaartepunt van het ertslichaam. Deze afstand is ongeveer 900 m.

Als voordelen worden genoemd:

- Elke locatie dichtbij het ertslichaam kan de winning van verertste zones die nu nog niet ontdekt zijn belemmeren.
- Het gebied van de sulfide- en powerplant is tot op een diepte van 200 m verkend waarbij geen erts werd gevonden.
- Erts kan eenvoudig, zonder tussenkomst van trucks, direkt vanuit de bunker bij de schacht naar de plant getransporteerd worden.
- Gunstig uit het oogpunt van onderhoud en elektriciteitstoevoer.
- Andere gebieden, voornamelijk in N.W. richting kunnen ondergronds aangesloten worden. Bijvoorbeeld Sorpresa, alhoewel hier geen plannen voor bestaan.

Samengevat: Deze positie ligt centraal t.o.v. het bovengenoemde ^{grondse} zwaartepunt van de onderneming: de plant. En ondergronds min of meer centraal tussen eventueel nog te ontdekken verertsingen.

Voornamelijk vanuit kosten oogpunt ^{kunnen} ~~zijn~~ er echter belangrijke ^{voor} ~~de~~ delen ^{zijn}:

- Een skipschacht in de direkte nabijheid van het ertslichaam beperkt de ondergrondse transportafstand aanzienlijk.
- De infrastructuur van de ondergrondse transportverdieping wordt 750 m korter. Besparing: 750.000 \$.
- Ventilatiebehoefte vermindert.
- Constructietijd wordt korter. Het projekt kan eerder starten.

Trucktransport is door de hoge brandstofkosten van de laatste jaren minder economisch geworden en dient zoveel mogelijk beperkt te worden. Vertikaal- en horizontaal transport en met behulp van schacht-skip en bijvoorbeeld bandtransporteur zijn tegenwoordig goedkoper.

Een schacht nabij het ertslichaam hoeft niet noodzakelijkerwijze de ontginningsmogelijkheden te beperkt. In dit harde gesteente is de veiligheidspijler om de schacht slechts van geringe afmetingen. Er zal ook weinig beweging in het gesteente ontstaan door de cut- en fill afbouwmethode.

In het navolgende worden de transportkosten berekend van een vierde alternatief. De schacht wordt in de direkte nabijheid van het ertslichaam geplaatst. Voor het bovengronds transport van de schacht naar de sulfideplant is voor een conveyor belt gekozen. Trucktransport wordt afgewezen omdat het duur is. Belangrijk is ook de voorkeur van een continue transportmiddel na het nagenoeg continue schachtvervoer boven discontinue trucktransport.

3.6.2. Beschrijving

In het Plano General blz 59 is de omtrek van het Nora Marina ertslichaam aangegeven. De schacht wordt 80 m buiten het ertslichaam geplaatst naast Cancha (Stockpile) 19. Met deze positie zijn de transportwegen naar de beide groepen orepasses ongeveer evenlang. De hoogte van het maaiveld is hier ongeveer 960 m, hetzelfde als de schacht bij de sulfideplant.

Bovengronds wordt een bandtransporteur aangelegd in rechte lijn tussen de schacht (sulfidebunker) en de sulfideplant. Het oxide-erts wordt per truck naar de oxideplant getransporteerd. Het hoogteprofiel van het conveyor traject is weergegeven in de bijlage. Dit traject passeert twee wegen, waarvan aangenomen wordt dat deze voor open pit operaties bruikbaar moeten blijven. Onder de eerste weg wordt een eenvoudige betonnen tunnel aangelegd en over de tweede weg wordt een brug gebouwd. De maximale hellingshoek van de transporteur is 14° (25%). Daarvoor dient de bodem op twee plaatsen (weergegeven in de profielen) opgehoogd te worden.

3.6.3. Berekening Conveyor Belt (Bandtransporteurs J. Verschoof 1967)

De transportcapaciteit wordt aangepast aan de capaciteit van de skip-schacht. In de eerste jaren van het project wordt oxide- én sulfide-erts geproduceerd. De capaciteit van de bandtransporteur wordt echter gelijk gesteld aan de maximale capaciteit van de skip-schacht (700 t/h), aangezien in de latere jaren de produktie helemaal uit sulfide-erts bestaat.

Bandbreedte

De minimale bandbreedte wordt naast de vereiste capaciteit ook beperkt door de stukgrootte van het erts. De ondergrondse breker heeft een doorlaat (setting) van 200 mm. Uit de grafiek van Verschoof blz 73:

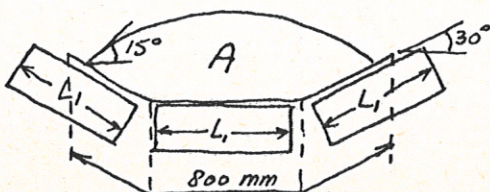
Bandbreedte (mm)	max. toelaatbare stukgrootte (mm)	
	Indien ca 20% van toevoer uit deze stukken bestaat	Indien 90% uit deze stukken bestaat
650	200	110
800	250	150
1000	320	200
1200	450	250

De bandbreedte dient dus niet minder dan 800 mm te zijn.

Bandsnelheid

De maximale bandsnelheid voor grote, zware en scherpe stukken is ongeveer 2m/s.

Vervoerscapaciteit van een 800 mm band met snelheid 2 m/s.



breedte $B = 800$ mm Effectieve breedte : $0,9 \cdot B - 0,05$
 Storthoek van materiaal op de band : 15°
 Troghoek 30°

$$opp A = \frac{(0,9B - 0,05)^2}{0,068} \text{ dm}^2$$

Vervoerscapaciteit Q_t (t/h) = $A/100 \cdot v \cdot \gamma \cdot k \cdot 3600$

V = bandsnelheid 2 m/s

γ = stortgewicht van het materiaal 1,6 t/m³

K = vullingscoëfficiënt voor hellende banden. Voor dit traject met op twee plaatsen een hoek van 14° is K 0,96.

$Q_t = 730$ t/H. Een band van 800 mm met een snelheid van 2 m/s voldoet aan de capaciteitseis.

Benodigde Vermogen

Drietermformule Din 22101

$$N_{eff} = \frac{f \cdot G_m \cdot C \cdot L \cdot v}{75} + \frac{f \cdot Q_t \cdot C \cdot L}{270} + \frac{Q_t \cdot H}{270} \quad pk$$

De eerste term is het vermogen nodig voor de beweging van band en draaiende delen. De tweede term is het vermogen nodig voor het transport van de lading. De derde term is de vermogensbehoefte voor het verticale transport, waarin H de opvoerhoogte is. + H voor vervoer omhoog, - H voor vervoer omlaag. Begin en eindpunt van deze band liggen op dezelfde hoogte. De laatste term valt dus weg.

N_{eff} = benodigde totale vermogen aan de aandrijftrommel.

f = wrijvingscoëfficiënt van de bandrollen $f = 0,025$

G_m = gewicht van boven- en onderpart van het band in kgf/m, vermeerderd met het gewicht van de roterende delen van onder- en bovenrolstellen.

G_m wordt eerst aangenomen. Voor middelzware constructies en 800 mm bandbreedte:

$G_m = 65$ kgf/m.

C = correctiefactor voor bandlengte. Bij 800 m $C = 1,1$.

L = horizontale afstand in m. $L = 825$ m.

V = 2 m/s.

Q_t = 700 t/H (maximale transporthoeveelheid).

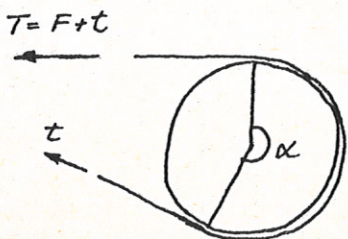
Met deze waarden wordt N_{eff} : $39,3 + 58,8 = 98,1$ pk.

Rekening houdend met het rendement van motor en koppeling wordt het motorvermogen:

$$N_{motor} = N_{eff} / \eta_{mech} \cdot \eta_{kop} = 98,1 / 0,98 \cdot 0,96 = 104,3 \text{ pk} = 76,7 \text{ kW}$$

De meest geschikte motor in de handel heeft een vermogen van 90 kW.

Met dit vermogen wordt nu de maximale trekkracht in het band bepaald. Deze trekkracht bepaalt de sterkte van het band en daarmee het gewicht G_m . Met deze G_m wordt het benodigde motorvermogen gecontroleerd.



$$N_{eff} = N_{motor} \cdot \eta_{mech} \cdot \eta_{kop} = 90 \cdot 0,98 \cdot 0,96 = 84,7 \text{ kW} = 115 \text{ pk}$$

$$\text{voorspankracht } t = F \cdot \frac{1}{e^{\mu \alpha - 1}}$$

$$F = \frac{75 \cdot N_{eff}}{v} \text{ kgf} = \frac{75 \cdot 115}{2} = 4313 \text{ kgf}$$

Wrijvingscoëfficiënt voor gladde stalen trommel, bij droog bedrijf: $\mu = 0,3$.

Maximale omvattingshoek voor ééntrommelaandrijving: $\alpha = 210^\circ = 3,66 \text{ rad}$.

$$t = 4313 \cdot 0,5 = 2157 \text{ kgf.}$$

Maximale trekkracht $T = F + t = 4313 + 2157 = 6470$ neem 6500 kgf.

Minimum treksterkte van band in kgf per cm bandbreedte:

$$\text{Knud} = \frac{9 \cdot T}{B}$$

B = bandbreedte in cm

9 = min. veiligheid t.o.v. breuk in band

$$= 730 \text{ kgf/cm.}$$

Volgens DIN 22131 voor staalkoordbanden kan deze trekkracht worden opgebracht door kabels van St1000 met $\varnothing 4,3 \text{ mm}$. Gewicht van deze kwaliteit kern: 9 kg/m^2 . Met een deklaag van 7 mm en een onderlaag van 6 mm rubber wordt het totale gewicht van 800 mm breed band: (gewicht van 1 m^2 , 1 mm dik rubber is 1,15 kgf).

$$G_b = (9 + (7 + 6) \cdot 1,15) \cdot 0,8 = 19,2 \text{ kgf/m lengte, neem 20.}$$

Gewicht van een bovenrolstel: 19 kgf ($\varnothing 133 \text{ mm}$). Afstand tussen de stellen 1,5 m.

Gewicht van een onderrölstel: 14 kgf. Afstand tussen de stellen 3 m.

Totale gewicht per m lengte: $G_m = 2 \cdot 20 + 19/1,5 + 14/3 = 57,3$ neem 60 kgf/m.

Hiermee wordt het benodigde vermogen $N_{eff} = 36,3 + 58,8 = 95,1 \text{ pk} = 70 \text{ KW}$

$$N \text{ motor} = 74,4 \text{ KW.}$$

De dimensionering van de motor is juist geweest.

Kosten Conveyor belt

Kosten voor grondwerk: egalisatie en sleuf voor tunnel	10.000 \$
Funderingen + weg	40.000 \$
Brug	50.000 \$
Tunnel	25.000 \$
Kosten band 120 \$/m ware lengte 2 x 880 m	210.000 \$
Draagconstructie 120 \$/m 880 m	105.000 \$
Motor + aandrijfmechanisme 300 \$/pk 122 pk	40.000 \$
Receiving station feeder	50.000 \$
conveyor	70.000 \$
chute	50.000 \$
Construction and erection works	<u>150.000 \$</u>
Totale investering	800.000 \$

Operating kosten

Energie: Gemiddelde produktie 8350 t/dag (18 uur) = 470 t/H.

$$\text{Neff} = 36,3 + (0,025 \cdot 470 \cdot 1,1 \cdot 825) / 270$$

$$= 36,3 + 39,5 = 76 \text{ pk} = 55,8 \text{ KW.}$$

N motor = 60 KW

$$60 \text{ KW} \times 18\text{H} \times 0,09 \text{ \$/KWh} / 8350 \text{ ton/dag} = 0,01 \text{ \$/ton}$$

Onderhoud: band 5% van aanschafkosten per jaar = 0,005

Draagconstructie motor en aandrijving

2% van aanschafkosten per jaar = 0,001

Personeel 1 man per dag 520 \\$/maand /208.500

$$\text{ton} = 0,003$$

Bediening 3 man per dag = 0,01

Totale operating kosten 0,03 \\$/ton

3.6.4. Kostenvergelijking v.d. transportalternatieven

Zie tabel blz 75 (tekst)

De posten die veranderen bij de investering zijn:

- transportverdieping. Het aantal meters galerij vermindert met 780 m.

Het aanleggen van deze verdieping kost nu $1910 - 780 = 1130 \text{ m} \times 1000 \text{ \$/m}$

$$= 1.130.000 \text{ \$}.$$

- transportband bovengronds kost 800.000 \\$.

- ventilatie: om dit te bepalen wordt eerst het aantal trucks in de transportverdieping berekend. Om te kunnen vergelijken met de andere alternatieve worden dezelfde factoren voor trucktransport aangehouden als in bijlage 57.

Dat betekent voor de snelheid van de Kirunatrucks bij horizontaal transport ondergronds 400 m/min (24 km/h.) Uit praktijkwaarnemingen (grafiek 67) blijkt dat deze snelheid overschat wordt.

O.P. 2 - breker 440 m loadhaul + return 2,2 min

laden en lossen 4,0 min

cycle time OP2 6,2 min

O.P. 5 - breker 400 m loadhaul + return 2,0 min

laden en lossen 4,0 min

cycle time OP5 6,0 min

Gemiddelde cycle time 6,1 min. Capaciteit: $50 / 6,1 \times 38 \text{ t} = 310 \text{ t/H} = 1870 \text{ t/shift.}$

$8350 / 1870 = 4,5$ truckshifts per dag.

Dit is iets meer dan het conveyor belt alternatief (4,0 tr.sh/dag). Hieruit blijkt dat de ventilatiebehoefte hetzelfde is. De investeringskosten voor ventilatie van de transportverdieping waarbij twee trucks erts transporteren bedragen 467.000 \\$.

Bij de operating kosten veranderen de volgende posten:

- Truckhauling. 4,5 truckshifts per dag. 70 \\$ per truck per uur.

$$4,5 \times 8 \times 70 \text{ \$/H} / 8350 \text{ tpd} = 0,30 \text{ \$/ton.}$$

- Hoisting: vermeerderd met 0,03 \$/t: operating kosten voor de bovengrondse conveyor belt.

Alle andere kosten blijven gelijk.

Totale kosten van de 4 transportsystemen (000 \$)

	Schacht + transport- band	Schacht	Transp. band	Truck
Verlengen bestaande ramp	1000	1000	1000	1000
Additionele ramps	-	-	-	3790
Ore passes	1630	1630	1630	1330
Transportverdieping	1130	1910	1050	-
Brekerstation	1500	1500	1500	-
Skip-schacht	4945	4945	-	-
Transportbanden	800	-	6200	-
Primair ventilatie systeem	<u>467</u>	<u>685</u>	<u>467</u>	<u>785</u>
Totaal	11.472	11.670	11.847	6.905
Jaarlijkse afschrijving 20%, 10 Jaar	2736	2783	2826	1647
Kapitaalkosten per ton ($2,5 \cdot 10^6$ t/jaar)	1,10	1,11	1,13	0,66
Trucktransport	0,30	0,49	0,27	1,97
Breken	0,11	0,11	0,11	0,11
Hoisting	0,21	0,18	0,18	-
Ventilatie	<u>0,02</u>	<u>0,02</u>	<u>0,02</u>	<u>0,18</u>
Totaal	1,74	1,91	1,71	2,92 \$/ton

6.5 Conclusie

Door de schacht dichtbij het ertslichaam te plaatsen en bovengronds een bandtransporteur te installeren beperkt men het trucktransport zodanig dat de transportkosten met 10% verminderen: van 1,91 naar 1,74 \$/ton.

Of het voordeel van de centrale positie van de schacht bij de sulfideplant, temidden van eventueel nog te ontdekken verertsingen, opweegt tegen deze kostenvermindering is twijfelachtig.

Zolang niet meer geologische informatie omtrent het bestaan van andere, exploiteerbare verertsingen verkregen is, gaat het voordeel van de twijfel uit naar een locatie dichtbij Nora Marina.

5.4. Vorbereiding en ontsluiting

Zie kaart van de algemene infrastructuur van Nora-Marina blz 62, waar de bestaande infrastructuur op 1 mei 1982 in bruin is ingekleurd. Het mijngebouw bestaat op dat moment voornamelijk uit de ramp "Tunel Principal" en de verdiepingen 856 m (Nora) en 775 m. De eerste is de ventilatieverdieping en dient ook als transportverdieping voor produktie uit het 845 m niveau, de Nora testmijn. De tweede sluit in het oosten aan op de Marina orepasses 8 en 9 (784 m). In het oosten is er de bestaande mijn Marina Profunda, met haar serviceramp waar in 1982 het laatste erts uit sublevelstopes van de 784 m verdieping gewonnen zal worden.

Begin 1982 werd de start gegeven voor het Nora-Marina project. Grootste prioriteit heeft het verlengen van de Tunel Principal, het aanleggen van de 610 m hoofdtransportverdieping en de skipschacht met laadstation, breker en bunkers. Medio 1984 verwacht men dat de nieuwe mijn en de nieuwe (uitgebreide) sulfideflotatieplant operationeel zullen zijn.

Om in de overgangsjaren 1982 en 1983 verzekerd te zijn van een constante produktie, Sorpresa raakt ook zo langzamerhand uitgemijnd, is het onvermijdelijk om te gaan produceren in het nu al toegankelijke hogere deel van Nora-Marina. Het gevolg is wel dat er erts achterblijft in de crownpillars. Om deze verloren hoeveelheid zo klein mogelijk te houden heeft men de 845 m verdieping gekozen voor de exploitatie van oxide-erts en de 789 m verdieping voor sulfide. Met deze keuze komen de crownpillars in een tamelijk ongestoord gedeelte van het ertslichaam te liggen. Men verwacht hier weinig gesteentemechanische problemen als men later met de overhand cut en fill exploitatie vanuit de 610 m verdieping omhooggaand het uitgeminde gedeelte nadert. Tegen die tijd hoopt men de mijnbouw met postpillars zodanig onder de knie te hebben dat zelfs het overgrote deel van de crownpillars gewonnen wordt.

In 1982 wordt het hoge gedeelte ontsloten met twee op de doorsnede rood ingekleurde ramps en in het westen wordt een ventilatieopbraak gemaakt. In 1983 (blauw) wordt de 610 m hoofdtransportverdieping en de schacht voltooid. Verder wordt het westelijk deel ontsloten en de ramp 10800 E gedreven. In 1984 en later (groen) worden de twee ramps gedreven die toegang geven tot het grootste deel van het Nora-Marina erts, tussen 610 en 775 m.

5.5. Overgangsjaren: produktie en transport

5.5.1. Produktieprogramma 1982/1983

Tabel 63 geeft de complete produktie van Mantos Blancos in het jaar 1982. Daarvan is de ondergrondse produktie uitgesplitst in tabel 64, weergevende de produktie van de verschillende mijnen. Voorbereiding en ontsluiting is in tabel 65 uitgesplitst.

Uit de prefeasibilitystudie volgt de voorgenomen produktie van het jaar 1983:

	Sorpresa (000 ton/mnd)				Nora-Marina (000 ton/mnd)			
	Ox.	Sulf.	Ster.	Tot.	Ox.	Sulf.	Ster.	Tot.
1983	23	33	6	62	69	100	19	188

De oxide produktie van Nora-Marina in 1983 is hoofdzakelijk afkomstig van het Nora-test gedeelte.

5.5.2. Transportbehoefte 1982/1983

Met de hierboven genoemde produktiegegevens wordt in het navolgende het aantal in te zetten Kirunatrucks voor de overgangsjaren 82/83 berekend.

Voor de bepaling van de cyclustijden werd in eerste instantie gebruik gemaakt van door de Kirunafabriek verstrekte gegevens: snelheidsgrafieken van geladen of ongeladen Kirunatrucks op wegen met verschillende rolweerstand en stijgings/dalingspercentages (zie voorbeeld blz 66).

Moeilijkheid is daarbij het kiezen van de rolweerstand (in Mantos Blancos 2 à 3%) en het berekenen van de gemiddelde snelheid uit de maximumsnelheid van de grafiek. Men zou verwachten dat naarmate een traject langer is de gemiddelde snelheid de maximum snelheid dichter benadert. Uit vergelijking van met behulp van de grafiek bepaalde tijden en in de praktijk gemeten tijden (transport vanuit Sorpresa) zijn de volgende waarnemingen.

Geladen Kiruna:

Traject	Afstand	Max $v / \sqrt{}$
O.P. 2 - Portaal	813 m	0,94
Portaal - Stockpile 45	1180 m	1,00
Portaal - Breker	1592 m	0,91
Leach. pl. - Portaal (ripio)	1920 m	0,95
Portaal - Sterieldump	2320 m	0,88

Ongeladen Kiruna:

Traject	Afstand	Max \sqrt{v} / \bar{v}
Portaal - O.P. 2	765 m	0,64
S.P. 45 - Portaal	1180 m	0,61
Breker - Portaal	1630 m	0,50
Sterieldump - Portaal	1906 m	0,46
Portaal - Leach. pl.	1920 m	0,61

Er blijkt geen duidelijk verband te zijn tussen de lengte van het traject en de verhouding $\max \sqrt{v} / \bar{v}$. Voor loadhaulage blijkt de gemeten snelheid tamelijk goed overeen te komen met de snelheden in de grafiek. $\max \sqrt{v} / \bar{v} \sim 0,94$. De snelheid van ongeladen Kiruna's ligt in de praktijk veel lager. Ongeladen wordt voornamelijk bergafwaarts gereden. Kirunatrucks zijn vierwielige voertuigen met tussen cabine-motorgedeelte en laadbak een schanierpunt. Waarschijnlijk wordt ongeladen bergafwaarts langzamer gereden om doorzwaaien van de bak te vermijden.

Omdat er zoveel moeilijk voorspelbare factoren zijn zoals wachttijden bij de breker of voordat de tunnel wordt ingereden, oponthoud bij de orechutes etc. werd afge-stapt van het gebruik van fabrieksgegevens en werden additionele praktijkwaarnemingen gedaan. Deze waarnemingen beperken zich tot transport vanuit Sorpresa via de 600 m lange 10% Sorpresaramp. Door onregelmatige produktie vanuit Marina via de (10%) Tunel Principal bestond er geen mogelijkheid om ook hier metingen te verrichten. De waargenomen snelheid in de Sorpresaramp wordt aangehouden bij de bepaling van de Nora-Marina cyclustijden.

5.5.2.1. Waarnemingen K500 en K501

- Gemiddelde snelheid in 10% ramp
 - Geladen omhooggaand 12,2 km/h (3,39 m/sec) 50 waarn.
 - Leeg afdalen 26,1 km/h (7,25 m/sec) 53 waarn.
- Gemiddelde snelheid aan de oppervalkte, leeg en geladen 20 km/h (5,56 m/sec) 61 waarn.
- Gemiddelde snelheid voor horizontaal transport ondergronds, afhankelijk van de afstand volgens grafiek blz 67 .
- Tijden voor laden, draaien en lossen.

	geschat 80 sec	} 2,0 min. voor laden in Nora-Marina
Draaien bij orepass voor laden	40 sec	
Laden bij orepass 39,1 sec (35 waarn.)	45 sec	} 1,5 min. voor lossen
Draaien voor lossen 47,3 sec (16 waar.)	45 sec	
Lossen 45,8 sec (17 waarn)		
- Wachttijd voor lossen bij oxidebreker 146 sec (48 waarn.) 2,5 min.
 bij sulfidebreker geschat 0,5 min.
- Wachttijd voor inrijden van Sorpresaramp (van beide zijden) 1,3 min.

5.5.2.2. Cyclustijden Kirunatrucks. Voor routeoverzicht zie plano general blz 59 .

A. Sorpresa

Traject	Afstand (hor.)	Snelheid		Tijd
Portaal-Einde ramp	600 m	26,1 km/h	7,25 m/s	83 sec
Einde ramp-O.P. 2	165 m	14,0	3,89	42
O.P. 2- Ramp	150 m	13,5	3,75	40
Ramp-Portaal	670 m	12,2	3,39	198
loadhaul + return ondergronds				363 sec = 6,1 min.

Traject	Afstand (hor.)	Snelheid		Tijd
Portaal-Sterieldump I/II	2000 m	20 km/h	5,56 m/s	360 sec = 6,0 min.
Portaal-Oxide breker	1600 m	20,0	5,56	288 sec = 4,8 min.
Portaal-Sulfide breker	1790 m	4 waarnemingen		285 sec = 4,8 min.
Sulfidebreker-Portaal	1790 m	3 waarnemingen		260 sec = 4,3 min.

	<u>Sulfide</u>	<u>Oxide</u>	<u>Steriel</u>
Laden	1,0	1,0	1,0
Wachten voor inrijden ramp	1,3	1,3	1,3
Loadhaul + return ondergr.	6,1	6,1	6,1
Loadhaul aan oppervlakte	4,8	4,8	6,0
Wachten voor lossen	0,5	2,5	-
Lossen	1,5	1,5	2,0
Terug naar portaal	<u>4,3</u>	<u>4,8</u>	<u>6,0</u>
Totale cyclustijd	19,5	22,0	22,4 min
Transportcapaciteit per truck	97	86	85 ton/H
	585	518	509 ton/dienst

(Nuttige lading Kiruna: $42 \times 0,9 = 38$ ton, 6 eff. werkuren per dienst, 50 productieve minuten per uur).

B. Nora-Marina (transport vanaf O.P. 9, punt 5 in plano general)

Traject	Afstand	Gradiënt	Snelheid		Tijd
Portaal - OP 9	1820 m	-10%	26,1 km/h	7,25 m/s	251 sec
	80 m	0	9,0	2,50	32 sec
OP 9 - Portaal	80 m	0	9,0	2,50	32 sec
	1820 m	+10%	12,2	3,89	<u>468 sec</u>
					783 sec = 13,1 min.
Portaal - Ox. breker	1240 m		20,0	5,56	223 sec = 3,7 min
Portaal - Sulf.breker	1420 m		4 waarnemingen		4,0 min
Sulf. breker-Portaal	1420 m		3 waarnemingen		3,6 min
Portaal-Sterieldump I/II	1640 m		20,0	5,56	295 sec = 4,9 min.

	<u>Sulfide</u>	<u>Oxide</u>	<u>Steriel</u>
Laden	2,0	2,0	2,0
Wachten bij portaal/passeerplaatsen	2,0	2,0	2,0 geschat
Loadhaul + return ondergr.	13,1	13,1	13,1
Loadhaul aan oppervlakte	4,0	3,7	4,9
Wachten voor lossen	0,5	2,5	-
Lossen	1,5	1,5	2,0
Terug naar portaal	<u>3,6</u>	<u>3,7</u>	<u>4,9</u>
	26,7	28,5	29,9 min.
Transportcapaciteit per truck	71	67	66 t/H
	427	400	394 t/dienst

C. Nora-test

Het erts uit dit gedeelte wordt in 1982 direkt door de scooptrams in de trucks geladen, zonder gebruik van orepasses. Vanaf 1983 wordt hier wel gebruik gemaakt van orepasses: locatie 10685 E - 10100 N. Erts uit Nora-test bestaat hoofdzakelijk uit oxide, en daarnaast in 1982 66800 ton steriel uit de voorbereiding.

Cyclustijd 1982:

Traject	Afstand		Snelheid	Tijd
Portaal-Punt 2 (856 verd.)	560 m	-10%	26,1 km/h	77 sec
Punt 2 - Nora test	680 m	0%	18,0 km/h	136 sec
Nora test - Punt 2	680 m	0%	18,0 km/h	136 sec
Punt 2 - Portaal	560 m	+10%	12,2 km/h	<u>165 sec</u>
				514 sec = 8,6 min.

	<u>Oxide (sulf.)</u>	<u>Steriel</u>
Laden	5,0	5,0 geschat voor direkt laden
Wachten bij portaal en punt 2	2,0	2,0 geschat met scooptram.
Loadhaul + return ondergr.	8,6	8,6
Loadhaul aan oppervl.	3,7	4,9
Wachten voor lossen	2,5	-
Lossen	1,5	2,0
Terug naar portaal	<u>3,7</u>	<u>4,9</u>
	27,0	27,4 min
	70	69 t/H
Transport capaciteit	422	416 t/dienst

5.5.2.3. Aantal benodigde trucks 1982

Tabel 65 voorb/ontsl. 1982 geeft geen onderverdeling van mineraal in oxide en sulfide. Aangenomen wordt dat de verhouding Ox-Sulf dezelfde is als in de produktie tabel 64. Per jaar zijn er 300 produktieve dagen d.w.z. 900 diensten.

Voorbereiding-ontsluiting (Quinta III wordt verwaarloosd)

Sorpresa 36.000 ton mineraal, 26% Ox. en 74% Sulfide.

9.360 ton Ox.	518 t/dienst	0,02 trucks
26.640 ton Sulf.	585 t/dienst	0,05 trucks
14.200 ton Steriel	509 t/dienst	<u>0,03 trucks</u>
		0,10 trucks

Nora Marina 118.000 ton mineraal, 14% Ox. en 86% Sulfide. Orepass 8 en 9.

16.520 ton Ox.	400 t/dienst	0,05 trucks
101.480 ton Sulf.	427 t/dienst	0,26 trucks
305.200 ton Steriel	394 t/dienst	<u>0,86 trucks</u>
		1,17 trucks

Nora test alleen oxide en steriel. Laden zonder orepass.

89.000 ton Ox.	422 t/dienst	0,23 trucks
66.800 ton steriel	416 t/dienst	<u>0,18 trucks</u>
		0,41 trucks

Produktie

Sorpresa

70.600 ton oxide	0,15 trucks
196.000 ton sulfide	0,37 trucks
53.800 ton steriel	<u>0,12 trucks</u>
	0,64 trucks

Nora test

341.600 ton vnl. oxide	0,90 trucks
------------------------	-------------

Marina + Nora-Marina (Marina erts wordt ook via OP 8 en 9 getransporteert)

169.400 ton oxide	0,47 trucks
479.400 ton sulfide	1,25 trucks
31.300 ton steriel	<u>0,09 trucks</u>
	1,81 trucks

Totaal aantal trucks 1982: 5,03.

Gemiddeld beschikbaarheidspercentage (1979) van de Kiruna's: 74%.

Hieruit volgt: vereist aantal trucks $5,03/0,74 = 6,8$.

Beschikbare ondergrondse transportvloot 1982: 6 Kiruna + 2 KW Dart 2330.

5.5.2.4. Aantal benodigde trucks 1983

Totaal te transporteren tonnage	1982	1983
Sorpresa	370.600	744.000
Nora-Marina + Nora test	<u>1600.700</u>	<u>2256.000</u>
	1971.300	3000.000

In 1983 is de transportbehoefte ondergronds aanzienlijk groter. Er wordt in totaal ruim 1 miljoen ton meer uit de mijnen getransporteerd, waarvan 370.000 ton uit Sorpresa en 660.000 ton uit Nora-Marina. In dit jaar heeft men ter beschikking 6 Kirunatrucks en 3 Darts 2330, afkomstig van de open pit.

Voor Sorpresa volgt uit het programma 5.5.1. en de bepaalde productiecapaciteiten:

Oxide	23.000 ton/maand (75 shifts)	aantal trucks 0,59
Sulfide	33.000	0,75
Steriel	6.000	<u>0,16</u>

Totaal: 1,50 Kiruna's

(In 1982 was dit 0,74 trucks).

Het gebruik van de 1800 m lange ramp naar de Nora-Marina orepasses zal aanzienlijk toenemen. Men zal deze ramp moeten inrichten om een dergelijke verkeersdrukte te kunnen verwerken. Dit wil zeggen dat de verbredingen die hier aanwezig zijn (de punten 2,3 en 4 van het Plano General) ook inderdaad voor het passeren van trucks geschikt gemaakt worden. Daartoe dient men waarschuwingslichten aan te brengen zodat een chauffeur kan zien of het traject tot aan de volgende plaats waar gepasseerd kan worden vrij is.

In de berekening van 1982 werden de wachttijden geschat aan de hand van waarnemingen in de Sorpresaramp. Bij een toenemende verkeersdrukte is een nauwkeurigere bepaling nodig. Daartoe is op bijlage blz 8 een simulatie uitgevoerd van transport in de Nora-Marina ramp met 6 trucks. Deze 6 trucks starten tegelijkertijd bij het portaal, 2 trucks met bestemming orepass in de 856 m verdieping (punt 6) vanwaaruit in 1983 het Nora-oxide-erts getransporteerd wordt. De andere vier rijden door naar de orepasses 8 en 9 in de 733 m verdieping (punt 5) voor transport van Nora-Marina erts (vnl sulfide).

Zodra een truck wil beginnen aan een bepaald traject in de ramp wordt eerst bekeken of het vrij is. Als een andere truck in dit traject tegemoet komt wordt gewacht totdat deze gepasseerd is. Deze wachttijden zijn in de kolommen onder W genoteerd. In de volgende tabel is voor ieder traject de gemiddelde tijd berekend. Voor het traject Portaal-Ox/sulf. breker, sterieldump - portaal is een gemiddelde tijd genomen, uitgaande van de Nora-Marina produktie in 1983: 37% Oxide, 53% Sulfide en 10% Steriel.

Traject	Afstand/Snelheid	Tijd
1-2 Portaal-Ramp 856-level	560 m -10% 26,1 km/h	1,29 min
2-3 Ramp 856-1e passeerplaats	230 m -10% 26,1 km/h	0,53
3-4 1e-2e passeerplaats	650 m -10% 26,1 km/h	1,49
4-5 2e passeerplaats-OP 9	320 m -10% 26,1 km/h, 80 m 0% 9km/h	1,27
Laden		2,00
5-4 OP 9-2e passeerplaats	80 m 0% 9km/h, 320 m + 10% 12,2km/h	2,11
4-3 2e-1e passeerplaats	650 m +10% 12,2 km/h	3,20
3-2 1e passeerplaats-ramp 856	230 m +10% 12,2 km/h	1,13
2-1 ramp 856-Portaal	560 m +10% 12,2 km/h	2,75
2-6 ramp 856-OP level 856	290 m 0% 17 km/h	1,02
Laden		2,00
6-2 OP level 856-Ramp 856	290 m 0% 17 km/h	1,02
1-1 Portaal-Sulf/ox/ster.-portaal	$0,37 \times 11,4 + 0,53 \times 9,6 + 0,10 \times 11,8 = 10,48$	

Simulatie resultaat

De simulatie eindigt op het moment dat de trucks met bestemming 733 niveau 6 complete cycli hebben gereden en de trucks met bestemming 856 niveau 9 cycli. De totale tijd is bijna 3 uur, ongeveer de halve (effectieve)diensttijd. Normaal wordt in Mantos Blancos door de truckchauffeurs na deze tijd gepauzeerd.

	wachttijd	totale tijd	aantal cycli	Gem. cyclustijd	Gem. wachttijd
Truck 1	11,43	168,93	6	} $173,67/6 = 28,95$	} $16,05/6 = 2,68$
2	11,43	168,93	6		
3	19,91	177,41	6		
4	21,44	179,41	6		
5	8,38	175,42	9	} $176,42/6 = 19,60$	} $9,38/9 = 1,04$
6	10,38	177,42	9		

Opmerking: Deze simulatie is zonder computer uitgevoerd. Er zijn echter ook speciale computerprogramma's waarmee zo'n transportprobleem opgelost kan worden. Een dergelijk programma gebruikt niet alleen gemiddelde snelheden of tijden, maar ook de waargenomen standaardafwijkingen. De computer kiest dan telkens aselekt uit de normale verdeling een tijd of snelheid in de buurt van het gemiddelde. Zodoende verkrijgt men een waarheidsgetrouwer beeld doordat herhalingen van identieke reeksen tijden niet meer voorkomen.

Maandelijkse Nora-Marinaproduktie 1983 met 6 trucks.

2 trucks 856 level: $50/19,6 \times 38 \times 2 = 194 \text{ t/H} = 1163 \text{ t/dienst} = 87.250 \text{ t/maand}$.

4 trucks 733 level: $50/28,95 \times 38 \times 2 = 263 \text{ t/H} = 1575 \text{ t/dienst} = 118.130 \text{ t/maand}$.

Vereiste produktie 1983 Nora-Marina: (000 T/maand).

	Ox.	Sulf.	Steriel	Totaal
	69	100	19	188
Haalbaar met 6 trucks	87		118	205

Hieruit volgt het minimale aantal trucks: $188/205 \times 6 = 5,5$.

Conclusie

In 1983 moet het aantal beschikbare trucks zijn $5,5 + 1,5$ (Sorpresa) = 7.

Rekening houdend met de beschikbaarheid dienen $7/0,74 = 9,5$ Kiruna trucks aanwezig te zijn.

Uit een studie van Mantos Blancos, gemaakt in mei 1980, blijkt dat een Dart 2330 bij ondergrondse inzet 43% van de produktiecapaciteit van een Kiruna heeft. De drie beschikbare Darts komen dus overeen met 1,3 Kirunatrucks. (Met beschikbaarheid hoeft hier geen rekening gehouden te worden, er is nog een vierde Dart stand-by).

Er is dus een niet gering tekort van $9,5 - 7,3 = 2,2$ Kirunatrucks.

De aanschafkosten van een Kirunatruck zijn 320.000 US \$. Het lijkt niet aannemelijk dat men enkel voor 1983 2 nieuwe Kiruna's zal aanschaffen. Vanaf medio 1984 als het skip-schachtsysteem van start gaat, heeft men ruim voldoende aan de huidige transportvloot van 6 Kirunatrucks. Hoogstwaarschijnlijk zal de geplande produktie iets verminderd en/of de ontbrekende capaciteit aan een contractor uitbesteed worden.

Literatuur en Informatiebronnen

- The Mantos Blancos operation Mining Engineering Januari 1962
- Mantos Blancos Mining Magazine December 1981
- Empresa Minera de Mantos Blancos Brochure 10 Oktober 1980
- Report Mantos Blancos Underground expansion study
WP - System Sweden Sept-Oct 1981
- Prefeasibility study for concentrator expansion
10-year mining plan 1982-1981 December 1981
- Transport Mina Quin-Quenio 1980-1984 Mei 1980
- Produktieprogramma's 1982
- "An Introduction to Geostatistical Methods of Mineral Evaluation" door J.M. Rendu
South Africa deel 1 en 2.
- *A guide to the understanding of ore reserve estimation* Haddon F. King e.a.
Australasian Institute of Mining and Metallurgie Maart 1979
- *Techniques in Mineral Exploration* J.H. Reedman London 1979
- *Prospecting and Exploration of Mineral Deposits* Miloš Kužvart en Miloslav Böhmer 1978
- *Atlas Copco Manual* Third edition 1978
- *Bandtransporteurs* J. Verschoof 1967