

コロンビア共和国海水淡水化計画
調査報告書
(要約版)

昭和 58 年 2 月

国際協力事業団



鉦計工
C.P.(8)
83-12

JICA LIBRARY



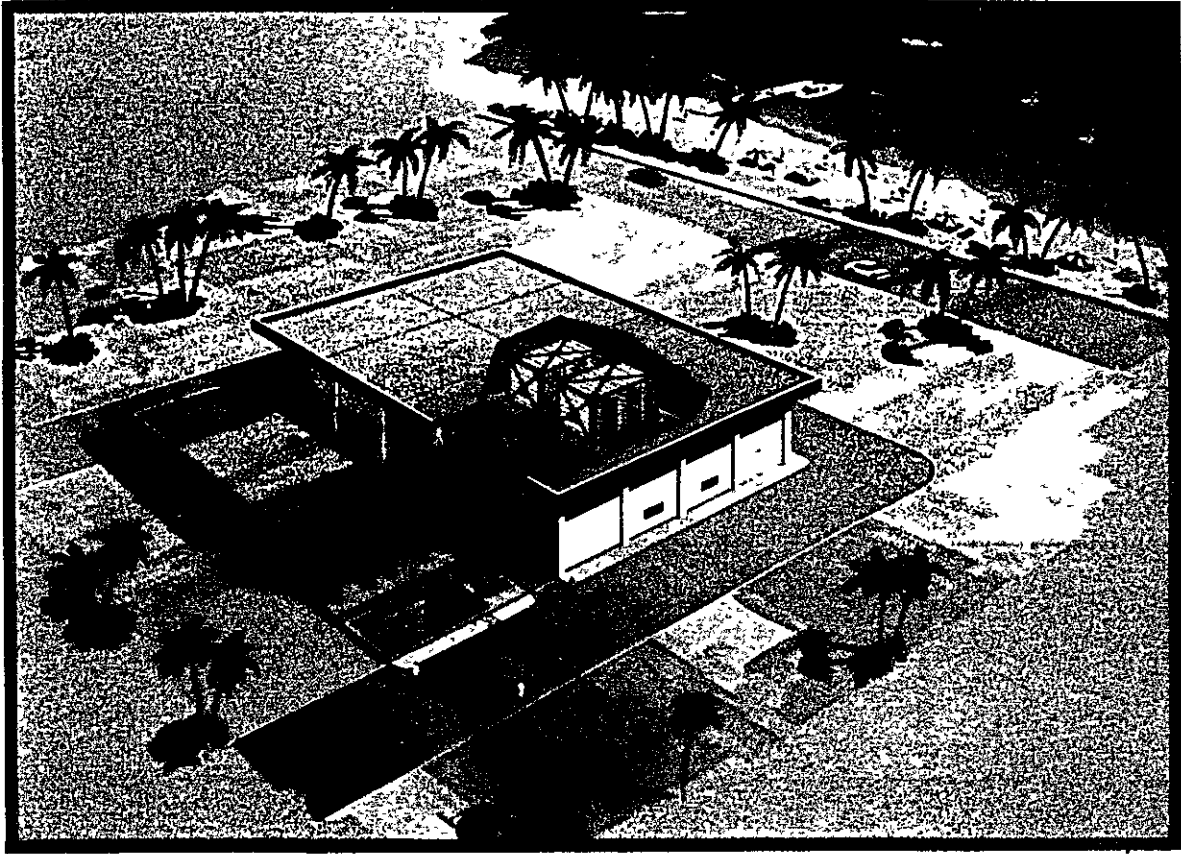
1031768L3J

コロンビア共和国海水淡水化計画
調査報告書

昭和 58 年 2 月

国際協力事業団

國際協力事業團	
受入 月日 58. 8. 22	1705
58. 5. 12	658
登録No. 1613695	MPI

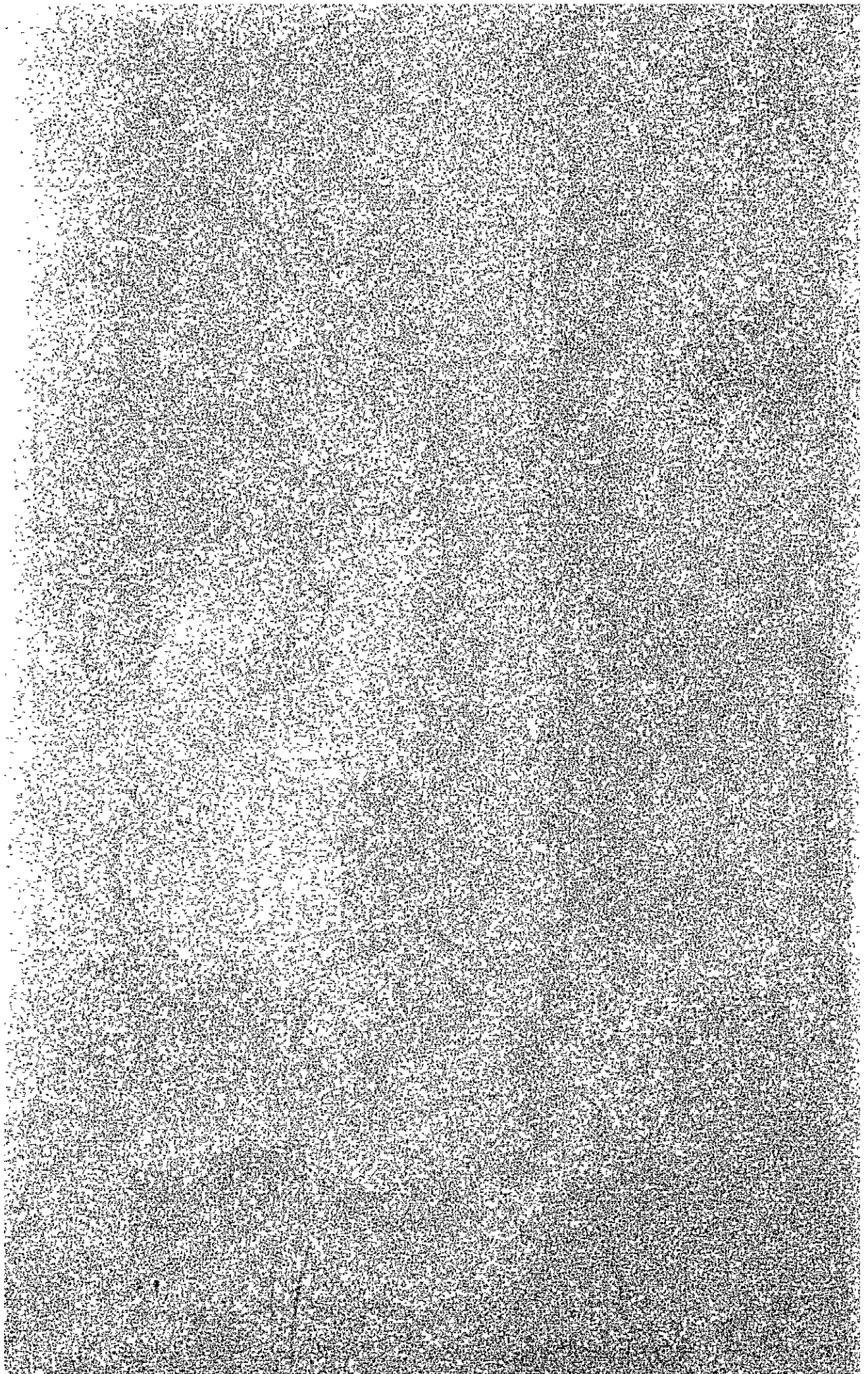


海水淡水化プラント完成予想図

2006

VOLUME 1

サンアンドレス島



要 約
(サンアンドレス島海水淡水化計画)

提案するプロジェクトの概要

プロジェクト名称：	海水淡水化設備		
淡水生産能力：	3,000 m^3 /日		
適用プロセス：	逆浸透法		
建設地：	サンアンドレス島カシ、マン地区		
予想運転開始時期：	1985年初頭		
主要工程：	海水取水ユニット	取水井	3基
		取水ポンプ	32 m^3 /分、3基
	前処理ユニット	複層ろ過器	3基
	逆浸透ユニット	ホローファイバー型モジュール	
		膜材質	トリスルホン酸セロファン
	生産水送水ユニット	送水ポンプ	25 m^3 /分、2基
	排水排出ユニット	排水ポンプ	0.6 m^3 /分、2基
生産水水質：	塩素イオン (Cl)	250 mg/l 以下	
	カルシウム (Ca)	75 mg/l 以下	
	マグネシウム (Mg)	125 mg/l 以下	
	蒸発残留物	500 mg/l 以下	
	pH	6.5 ~ 8.5	
水バランス：	取水量	9000 m^3 /日	
	造水量	3000 m^3 /日	
	排水量	6000 m^3 /日	
役使用量：	電力	21,200 kWh/日	
薬品使用量：	塩化第二鉄	273 Kg/日	
	硫酸 (98%)	441.0 Kg/日	
	苛性ソーダ (フレーク)	288 Kg/日	

要員：	管理者クラス	1名
	運転要員	7名
	計	8名
建設費：	脱塩設備	US\$ 4,888,000
	付帯設備	US\$ 1,979,000
	計	US\$ 6,867,000
建設所要時間： (試運転完了まで)	18ヶ月	
プロジェクト実施期間：	1985～2000年(16年)	
収益性の基準：	IRROI 15%	
生産水販売価格：	1.85 US\$/ m^3	
資本回収期間：	6.0年	

第1章 サンアンドレス島の概況

自然環境

サンアンドレス島は、カリブ海西方に位置する面積 27 km^2 のさんご礁からなる島である。さんご礁に由来する石灰質地質のため、利用しうる水源は雨水浸透による地下水のみで表流水はない。年間平均気温 27°C 、平均降水量 $1,933 \text{ mm}$ (ちなみに東京は $1,503 \text{ mm}$) である。

社会環境

サンアンドレス島の人口は $41,882$ 人 (1981年) であり、その 80% 近くが都市部に住んでいる。島は自由貿易港となっていることから、コロンビア本土からの買物旅行客が多く、観光業が最大の産業となっている。ホテル数は 27 で総室数は約 $1,900$ 室であり、旅行者は年間 $300,000$ 人来島し、1日当りの平均滞在人数は $3,000$ 人と推定されている。

島の公共サービスとして上下水道のほかに総合病院1ヶ所がある。また、教育機関として初等及び中等教育機関が 60 あり、約 $7,600$ 人が通学している。一方発電能力は $16,100 \text{ kW}$ となっている。

第2章 サンアンドレス島の水道事業の現状と需給予測

給水事業

1980年において給水戸数 $2,644$ 戸 (給水人口 $15,864$ 人) で、給水量は1日当たり $2,776 \text{ m}^3$ (32 l/秒) である。

水源及び水道施設

水源である井戸は島の中央部 El Cove 地区にあり、現存 15 ヶ所のうち 12 ヶ所で取水している。取水用水中ポンプの容量合計は 54 l/秒 ($4,700 \text{ m}^3/\text{日}$) である。配水は主として島北部のサンアンドレス市街地区を対象として行なわれ、このため El Cove のポンプ場から一度 El Cliff (標高 60 m) にある配水槽 (容量 $1,200 \text{ m}^3$) へ送られ、ここから市街地へは自然流下により、地下埋設管を通して各家庭へ配水されている。

将来計画

1985年に於ける計画給水人口42,300人、給水量7,600 m^3 /日と想定している。

第3章 海水淡水化設備計画

淡水化プラントの能力

1985年での給水量7,600 m^3 /日に対し、地下水の供給能力は現状の2,800 m^3 /日に開発計画量2,000 m^3 /日を加えた4,800 m^3 /日であり、この差2,800 m^3 /日を淡水化で補うものとして、海水淡水化プラントの能力を3,000 m^3 /日と決定した。

取水及び排水

サンアンドレス島の地域条件を考慮して次の方式を採用することとした。

原海水取水： 井戸取水方式

排水： 海流及び波による拡散効果の大きな島西北端のPunta Norteに放流

第4章 プロセスの選定

本海水淡水化設備に適用するプロセスを決定するに際し、3,000 m^3 /日という比較的小規模な容量を考慮して次の3プロセスを比較評価した。

逆浸透法

多重効用蒸発法

電気透析法

各プロセスを技術的、経済的に比較検討の結果、逆浸透法が下記理由から最適との結論に達した。

(1) エネルギー消費量が最小

エネルギー原単位(生産水 m^3 あたり)を次に示す。

	逆浸透法	多重効用蒸発法	電気透析法
電力(kWH)	7.0	4.3	10.0
燃料油(Kg)	0	9.1	0

- (2) 設備建設費が安い
- (3) 運転が容易である。

起動及び停止が容易であり、緊急停電により運転中断があっても何ら障害はない。

第5章 プラントサイトの選定

プラントサイトの選定に際し、サンアンドレス島北部の互いに近接している次の3ヶ所の候補地を比較検討した。

Taller

Plaza de Mercado

Campamento

検討の結果、次の利点を持つ Campamento をプラントサイトとして選定した。

利 点

- (1) 敷地が広く、且海に近い。
- (2) 敷地周囲に民家がない。
- (3) 排水放流、生産水送水ならびに電力受給に係わる設備費合計が一番安く経済的である。

第6章 建設されるプラントの概要

設備概要

サンアンドレス島に建設される逆浸透法海水淡水化プラントは、5つの主要ユニット——海水取水、前処理、逆浸透、生産水送水および排水——で構成される。

各ユニットの役割および性能は次の通り。

(1) 海水取水ユニット

深井戸（深さ60m）3本を設置しポンプ揚水により海水を汲み上げる。揚水された海水に次亜塩素酸ソーダを添加し、海水中の微生物および藻類の発生を抑制する。

主要機器は次の通り。

井 戸： 深さ60m、井戸径300mm×3本

取水ポンプ： 3.2 m³/分 × 5.5 kW × 3 基

電解塩素発生装置： 海水電解法 0.73 Kg/時 × 7.7 kW × 1 基

(2) 前処理ユニット

原海水は塩化第二鉄が添加され、浮遊固形物は複層濾過器により凝集濾過される。硫酸添加により pH 調整された前処理済海水は、逆浸透ユニットへ送られる。

主要機器は次の通り。

複層濾過器： 直径 3,250 mm、高さ 3,000 mm

(3) 逆浸透ユニット

本海水淡水化プラントの心臓部にあたる逆浸透ユニットはホロファイバー型モジュールで構成されている。逆浸透モジュールにより生産された淡水は、苛性ソーダ添加によって pH 調整され、次工程の生産水送水ユニットに送られる。

主要機器は次の通り。

ホロファイバー型： 膜材質 トリ酢酸セルローズモジュール

高圧ポンプ： 多段タービン型 500 kW × 3 基

動力回収タービン： 多段タービン型 111 kW × 3 基

(4) 生産水送水ユニット

逆浸透ユニットにより生産された淡水をを El Cliff にある既設配水槽へ送る。

主要機器は次の通り。

生産水送水ポンプ： 2.5 m³/分 × 7.5 kW × 2 基

生産水貯槽： 50 m³ × 1 基

(5) 排水ユニット

逆浸透モジュールからの濃縮海水は自圧で、その他の排水はポンプ昇圧され、合流して地下埋設管により Punta Norte の排出口へ送られる。

主要機器は次の通り。

雑排水昇圧ポンプ： 遠心型 0.6 m³/分 × 1.1 kW × 2 台

地下埋設費： 材質 FRP、長さ 1,600 m

要員計画

本海水淡水化プラントの運転のため、管理者クラス 1 名および運転要員 7 名が必要とされる。

建設工程

プロジェクト実施決定後コントラクター決定まで5ヶ月、さらにコントラクター決定後試運転完了まで18ヶ月、計23ヶ月が予想工期である。

第7章 所要総資本と運転費用

所要総資本

本海水淡水化プラントが商業運転を開始するまでに投下される資本の総計は下記の通りである。

単位 1,000 U.S.\$

費用	外貨	内貨	合計
設備建設費	4,678	2,189	6,867
操業前費用	71	175	246
初期運転資金	—	272	272
建設期間中金利	33	—	33
総計	4,782	2,636	7,418

運転費用

運転費用には、変動費である用役薬品費と、固定費である人件費、保全費および管理費が含まれる。

単位 1,000 U.S.\$

費目	年間費用
用役薬品費	782
人件費	62
保全費	206
管理費	38
合計	1,088

備考) 変動費は100%稼働時の値

各項の算出に用いた前提は下記の通りである。

用役としては電力のみが必要であり、その購入単価は 5.66 ペン / kWh である。

保全費は、設備建設費の 3 % / 年と想定した。

第 8 章 財 務 分 析

電子計算機を用い、次の財務諸表を作成した。

損益計算書

現金流入分析表

貸借対照表

分析に用いた前提条件

海水淡水化プラントは、1985年1月に営業運転を開始するものとする。

プロジェクト期間は営業開始後16年間とする。

操業率は初年度から100%とする。

所要総資本の30%は国家よりの補助金で充当するものとし、残りは下記条件の長期借入金でまかなうものとする。

利 率： 年7.5%

元金返済： 営業運転開始の翌年（1986年）から5年間5回の均等返済

営業運転開始後、資金不足が生じた場合は、下記条件の短期借入金で賄うものとする。

利 率： 年18.0%

元金返済： 借入翌年度に全額返済

本プロジェクトのIRRROIは15%とする。

分析結果

財務分析の結果を下記に表示する。

単位 1,000 U.S.\$

項 目	I R R O I	I R R O E
生産水販売価格 (US\$/m ³)	1.85	1.85
年間販売収入	1,942	1,942
運 転 費 (年平均)	1,088	1,088
生産コスト (年平均)	1,469	1,677
単位生産コスト (US\$/m ³)	1.40	1.60
純 所 得 (年平均)	473	265
現金流入 (年平均)	612	265
I R R (%)	15 (設定値)	8.08
資本回収期間 (年)	6.0	12.5

本財務分析においては、本プロジェクトの特徴を考慮してその内部収益率 (I R R) は下記を前提とした。

(1) I R R O I の試算においては、補助金を収入とみなして取扱う。

(2) プロジェクトの財務状況を把握するため、参考ケースとして補助金を自己資本とみなして I R R O E を計算する。

本プロジェクトでは、上記 I R R O I が 15 % を満足する時の生産水販売価格は 1.85 US\$/m³ と計算される。

財務分析の評価

I R R O I 15 % に対し I R R O E 8.08 % と、その収益率に大きな差が認められるのは、プロジェクト前半期の長期借入金の元本返済の為に資金不足から、金利の高い短期借入金の導入が必要となるためである。

このため I R R O E ケースの資本回収期間は 12.5 年となり、本プロジェクトは財務的にはかなり苦しい状態が予想される。

しかしながら、本プロジェクトの遂行は可能であり、生産水販売価格 1.85 US\$/m³ は現在のサンアンドレス島の水事情を考慮すると受入可能な価格と考えられる。

本プロジェクトに対する補助金の増額、あるいは長期借入金の元本返済期間の延長は、プロジェクトの財務状況の改善に大きな効果を与え、生産水販売価格の引き下げを可能にする。

第9章 地域経済への効果

経済的内部収益率 (EIRR)

海水淡水化プロジェクトの費用と便益とを次のように定義して、EIRRを計算した。

費用は、海水淡水化プラントの総投資額と、運転費用の合計から保険費用分を差し引いた金額とする。

便益は生産水販売収入に等しいとする。

計算結果は次の通りとなった。

E I R R (%) 9 . 0 8

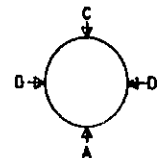
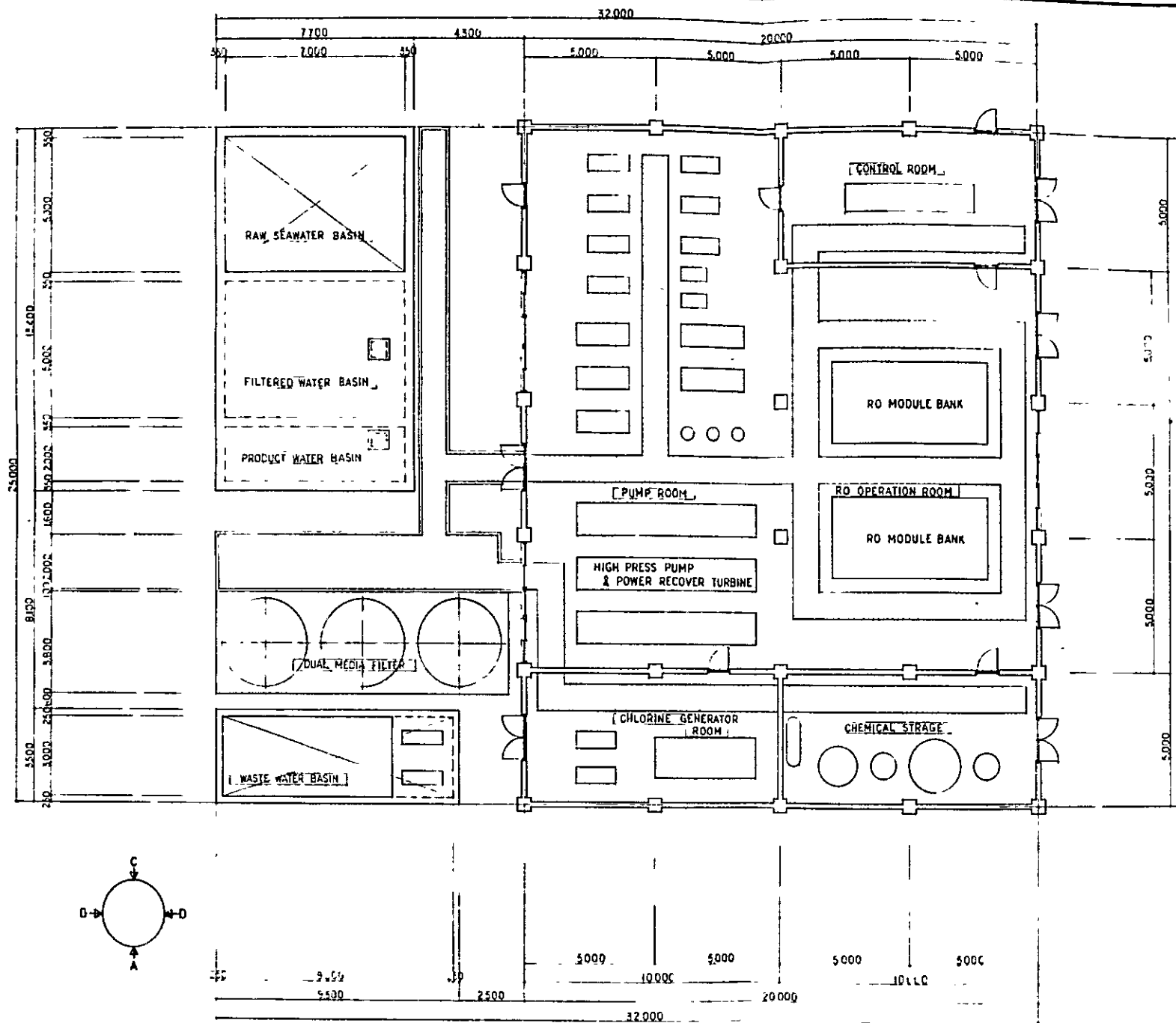
計測できない便益

本プロジェクトの実施により、サンアンドレス島における飲料水不足が解消するため同島に於ける最大産業である観光業の基盤が強化され、観光客の来島増加により、島の収入が増加し、島民の生活水準向上が期待できる。

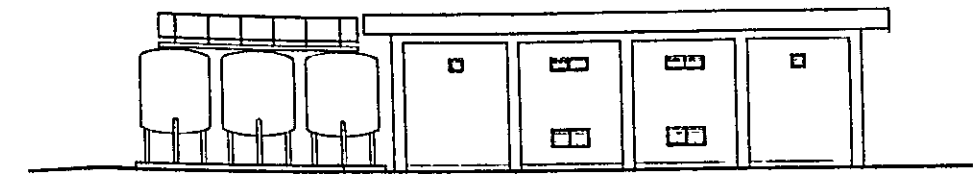
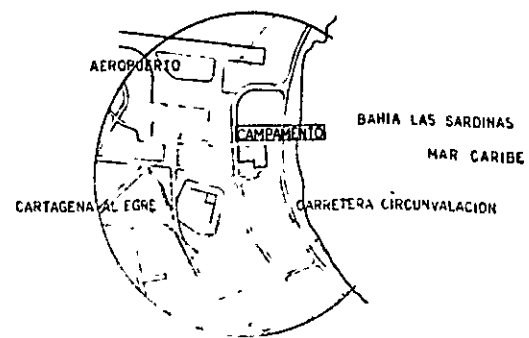
総合評価

本プロジェクトの早期実施は、社会的観点から必要不可欠なものであり、それによってもたらされる地域社会への波及効果は非常に大きい。

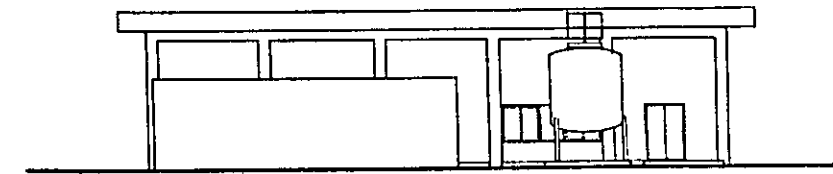
公共施設関連プロジェクトの収益性は一般に低いのが通例であり、本プロジェクトも財務的にはそれ程楽ではないが実行は十分可能であり、その計測できない経済効果面を考慮すると早急に実施されるべきものであると判断される。



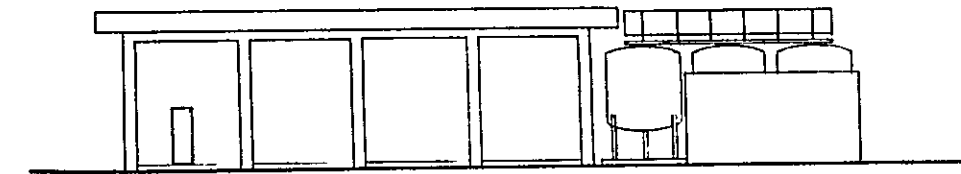
PLAN 1:100



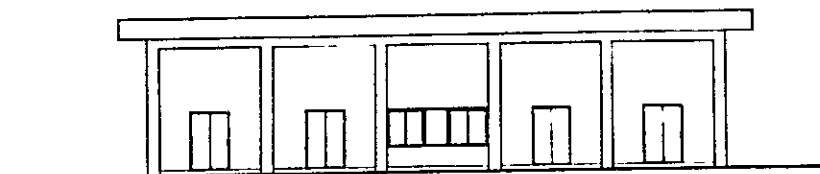
A ELEVATION 1:150



B ELEVATION 1:150

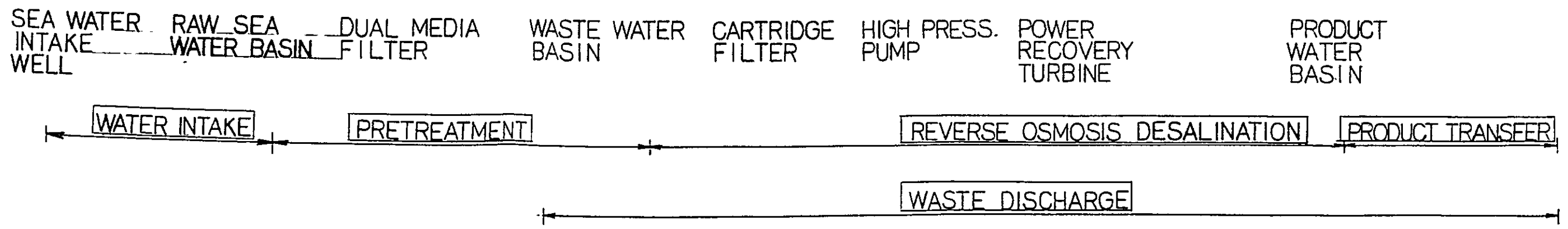
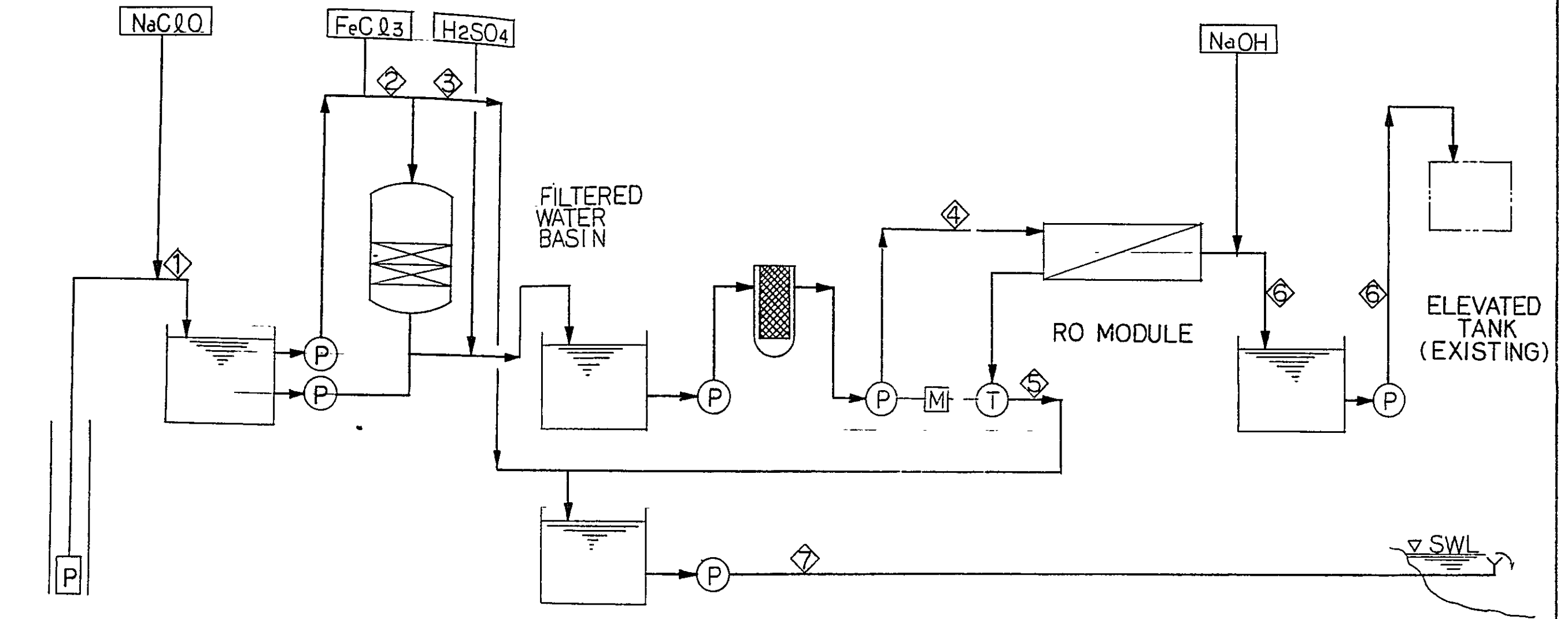


C ELEVATION 1:150



D ELEVATION 1:150

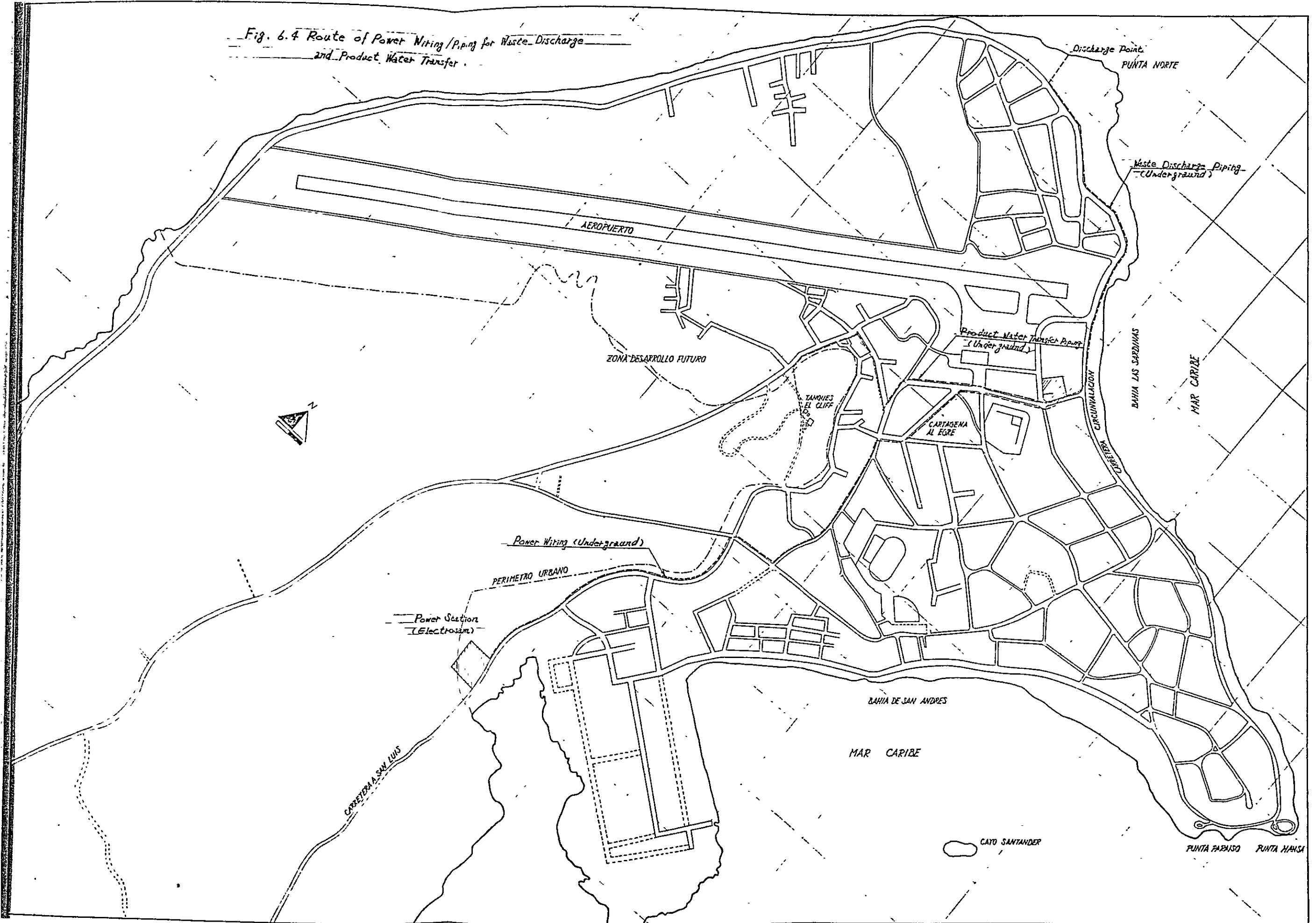
FIG 6.2 LAY OUT PLOT PLAN & BUILDING PLAN



NO	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
FLUID NAME	RAW SEA WATER	FILTER FEED	BACK WASH WATER	RO MODULE FEED	CONCENTRATED BRINE	PRODUCT WATER	WASTE WATER
FLOW RATE (M3/DAY)	9.000	9.000	430	8.570	5.570	3.000	6.000

Fig. 6.3 WATER BALANCE

Fig. 6.4 Route of Power Wiring/Piping for Waste Discharge and Product Water Transfer.



1

2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200

201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300

301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400

401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500

501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600

601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700

VOLUME II

プロヒテンシア島



フロヒチン（自海水）化水

提案するプロジェクトの概要

プロジェクト名称:	海水淡水化計画
淡水生産能力:	500 m ³ /日
適用プロセス:	逆浸透法
建設地:	フロヒチン（自海水）化水工場
予想運転開始時間:	1985年秋
主要工程:	取水ポンプ → ろ過 → 1500 m ³ 前処理ユニット → 逆浸透法 逆浸透ユニット → 逆浸透法 逆浸透法 → 逆浸透法 逆浸透法 → 逆浸透法 生産水貯蔵タンク → 排水ポンプ →
生産水水質:	塩素イオン (Cl) 250 mg/l カルシウム (Ca) 75 mg/l マグネシウム (Mg) 125 mg/l 蒸発残渣 500 mg/l pH 6.5 ~ 8.5
水バランス:	取水量 1,500 m ³ 造水量 500 m ³ 排水量 1,000 m ³
用役使用量:	電力 4020 kWh/日
薬品使用量:	塩化第二鉄 455 kg/日 硫酸 (98%) 715 kg 苛性ソーダ フレーク 48 kg
建設費:	US\$ 2250,000
単位生産コスト:	2.46 US\$/m ³

第1章 プロビデンスシア島の概況

自然環境

プロビデンスシア島はサンアンドレス島の北東約160 Kmに位置する小島である。年間平均気温27.5℃、年間降水量1,895 mmである。

社会環境

プロビデンスシア島の人口は、約3,000人(1982年)であるが、サンアンドレス島と異なり人口集中は殆どみられない。

島の産業は、漁業、農業及び牧畜業が主体であり、二次及び三次産業は殆ど認められない。しかも港湾施設が未整備のため、人の交通および物品搬入はほとんど航空便に頼っている。

第2章 プロビデンスシア島の水道事業の現状と需給予測

給水事業

1981年において給水戸数230戸(給水人口750人)で、給水量は1日当たり86 m³(1ℓ/秒)である。

水道設備

島内に於ける給水は、北部、西部および南部の三ブロック毎に別個に行なわれている。水源は山岳地帯に散在する泉からの湧水であり、各ブロック毎に湧水は極で容量50～100 m³(標高50～60 m)配水槽に集められた後、自然流下より地下埋設管を通して各戸に配水されている。

将来計画

2000年に於ける人口3,922人、給水量588 m³/日と想定している。

第3章 海水淡水化設備計画

淡水化プラントの能力

2000年に於ける計画給水量588 m³/日に対し、湧水の供給能力86 m³/日との差

502 m³/日を淡水化で補うものとして、海水淡水化プラントの能力を500 m³/日と決定した。

取水及び排水

プロビデンスシア島の地域条件を考慮して次の方式を採用した。

原海水取水： 管路方式

排水： 取水点から100 m離れた地点

第4章 プロセスの選定

VOL. I サンアドレス島と同じ理由から逆浸透法を採用することとした。

第5章 プラントサイトの選定

プラントサイトの選定に際し、次の2ヶ所の候補地を比較検討した。

旧市街地西部地区

空港南部地区

検討の結果、次の利点を有する旧市街地西部地区をプラントサイトとして選定した。

- (1) 港に近く、また道路も整備されているので建設工事の施工上便利。
- (2) 半島部にあり、取水及び排水に好都合である。
- (3) 配水槽に近い。

第6章 建設されるプラントの概要

本海水淡水化プラントは、サンアドレス島(3,000 m³/日)に設置されるものと同じ構成であり、以下の設備から成立っている。

- (1) 海水取水ユニット
- (2) 前処理ユニット
- (3) 逆浸透ユニット(動力回収タービンを含む)

(4) 生産水送水ユニット

(5) 排水ユニット

第7章 建設費用、運転費用および生産コスト

建設費用

プラント建設費	2,250,000 US\$
要員訓練費	96,000 US\$
合計	2,346,000 US\$

運転費用

総額 276,300 US\$/年

単位生産コスト

総額 246 US\$/ m^3

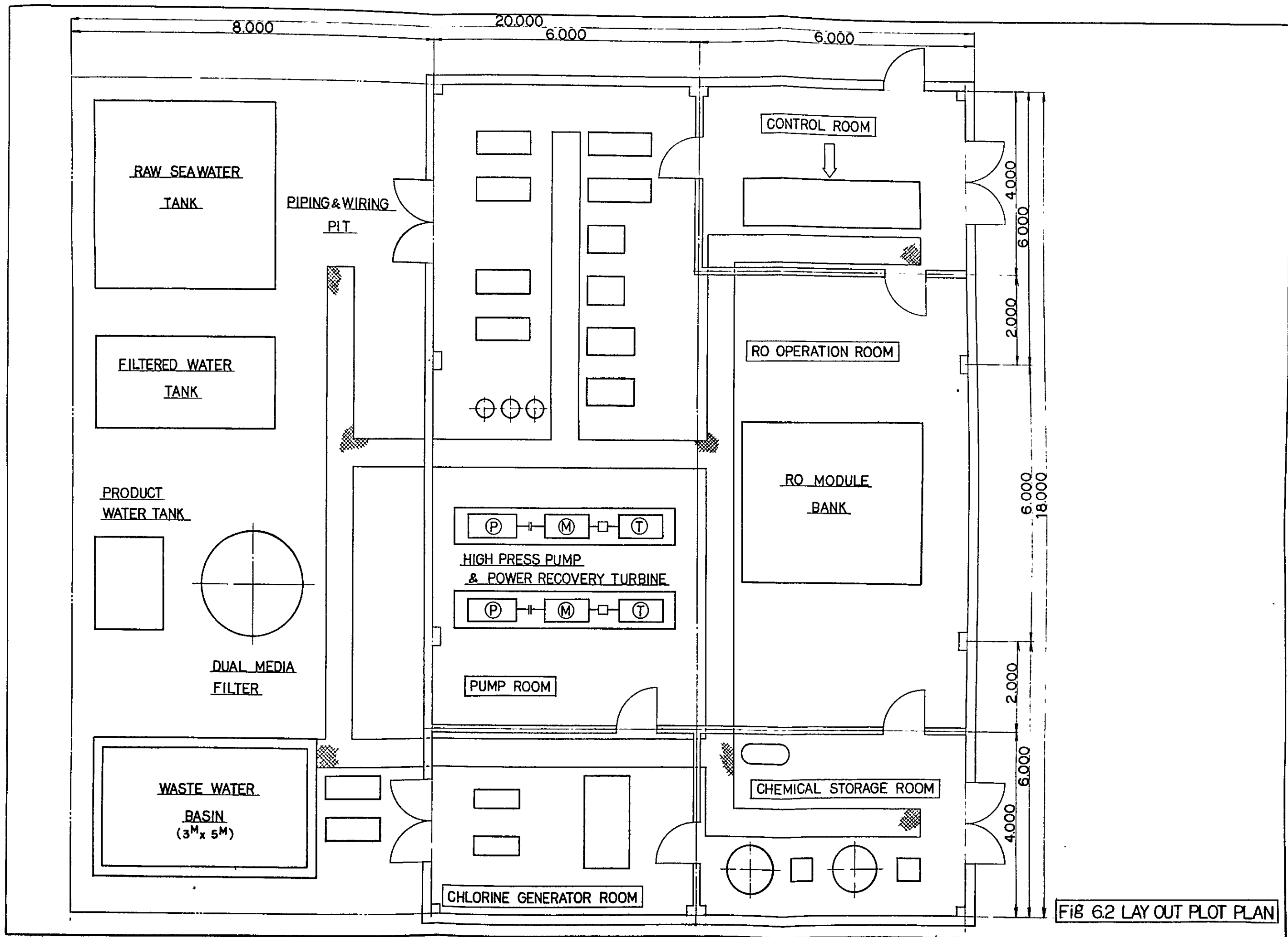


FIG 6.2 LAY OUT PLOT PLAN

JICA