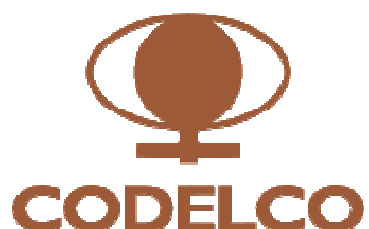


CORPORACIÓN NACIONAL DEL COBRE DE CHILE
DIVISIÓN MINISTRO HALES
SISTEMA MITIGACIÓN VEGA SAPUNTA



PROYECTO SISTEMA DE MITIGACIÓN VEGA SAPUNTA

Fecha	Preparado	Aprobado	Revisión	Observación
30/09/13	F. Reinoso J. Stern	J. Stern	0	

INDICE

1.	INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	3
2.	BALANCE HÍDRICO. DEMANDAS AGUA DE REGADÍO POR ASPERSIÓN	4
2.1.	Demanda Hídrica	4
2.2.	Evapotranspiración potencial	4
2.3.	Evapotranspiración de las especies vegetales (ETc)	6
2.4.	Eficiencia y aplicación de agua de regadío	7
2.5.	Resultados	8
3.	SISTEMA DE MITOGACIÓN VEGA SAPUNTA	9
3.1.	ZONAS DE RIEGO POR ASPERSIÓM	9
3.1.1.	Criterios de diseño	11
3.1.2.	Selección de aspersores y disposición en terreno	11
3.1.3.	Precipitación, aplicación de agua y tiempos de riego	13
3.1.4.	Sectorización del sistema de regadío	13
3.2.	VERTIENTES, SURGENCIAS Y RECARGA VEGA SAPUNTA	14
3.2.1.	Capacidad recarga	16
3.2.2.	Instalación tuberías y equipos	17
3.2.3.	Válvulas de corte y sectorización y medición de caudal	18
3.2.4.	Sistema de control	18
4.	AUTOMATIZACIÓN, INSTRUMENTACIÓN Y FILOSOFÍA DE CONTROL	18
4.1.	Sistema de automatización	18
4.1.1.	Sistema de decodificadores	19
4.1.2.	Válvulas de control	20
4.2.	Instrumentación y control	20
4.3.	Filosofía de Control	20
4.3.1.	Partida del sistema	20
4.3.2.	Parada del sistema	21
4.4.	Tableros eléctricos y de control	21
5.	SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA DE RIEGO	21
5.1.	Elementos adicionales	21
5.2.	Red hidráulica, diseño y cálculo	22
5.3.	Cálculo hidráulico	22
5.4.	Fenómenos transientes	22
5.5.	Válvulas de corte y sectorización	23
5.6.	Válvulas de aire de doble propósito	23
6.	INSTALACIÓN Y CONSTRUCCIÓN RED HIDRÁULICA	24
6.1.	Tubería impulsión	24
6.2.	Red de Tuberías vega Sapunta	24
6.3.	Cámaras de válvulas	25

PROYECTO SISTEMA DE MITIGACIÓN

VEGA SAPUNTA

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

La División Ministro Hales de Codelco se encuentra operando el Proyecto “Aducción de Agua Pampa Puno”, el cual sobre la base de prospecciones y un Modelo Hidrogeológico realizado el año 2001, cuenta con: (i) los derechos de agua de uso consuntivo de ejercicio permanente y continuo mediante la Resolución DGA N° 859/2002, equivalente a un caudal medio anual de 300 L/s y caudal instantáneo de 399 L/s, y (ii) con la aprobación ambiental del EIA del Proyecto mediante RCA N° 2603/2005, otorgada por la CONAMA.

Tanto el otorgamiento de los derechos de aprovechamiento de aguas, como la aprobación del EIA, establecen restricciones ambientales y/o operacionales para la explotación del acuífero de Pampa Puno, las cuales quedaron establecidas en el Plan de Alerta Temprana (PAT) del año 2002 y la RCA del EIA del Proyecto, respectivamente. Las restricciones ambientales que determinó el PAT-PP y el EIA de PP en relación a Sapunta establecieron entre otros aspectos umbrales de cobertura vegetal: *“La cobertura vegetal de las vegas no podrá modificarse en ninguna magnitud respecto de lo establecido por la COT (Carta de Ocupación de Tierras) de referencia comprometida por el Titular”*.

En el marco de la evaluación ambiental del Proyecto, en la Adenda 3 de dicho proceso, se definió como medida de mitigación en el caso de producirse la afección a la vega, que se deberá *“Regar la vega para evitar el secado de la vegetación existente, con agua proveniente del mismo acuífero Pampa Puno”* y *“compensar el caudal afectado, que de acuerdo al modelo conceptual y matemático de Pampa Puno, no sería mayor a 10 l/s”*.

Para el desarrollo del presente proyecto se ha considerado los compromisos adquiridos en el marco del SEIA y en este contexto se han incorporado los últimos estudios y experiencias realizados en vegas similares en Chile y el mundo. En consecuencia, el proyecto de mitigación considera los siguientes componentes:

- i) El diseño de un sistema de riego por aspersión en el área de la vega.
- ii) Implementación de sistema de apoyo a surgencias, vertientes y recarga que permitan el escurrimiento libre de agua superficial y eventualmente recuperar los niveles de la vega.

En consecuencia y de acuerdo a las condiciones ecosistémicas de esta, se ha estimado que el área superior por sobre la poza 1 se deberá regar por aspersión. No obstante el área de la vega entre poza 1 y poza 2 recibirá aplicación de agua de riego a través del escurrimiento superficial y recarga, Se considera asimismo recarga para PSAP 1, 2 y 3.

2. BALANCE HÍDRICO Y DEMANDAS DE AGUA DE RIEGO POR ASPERSIÓN

2.1. Demanda Hídrica

Para determinar la demanda de agua de regadío se utilizaron series de datos climáticos obtenidos de la estación meteorológica de Pampa Puno y del salar de Coposa, estación cercana y de características geográficas similares.

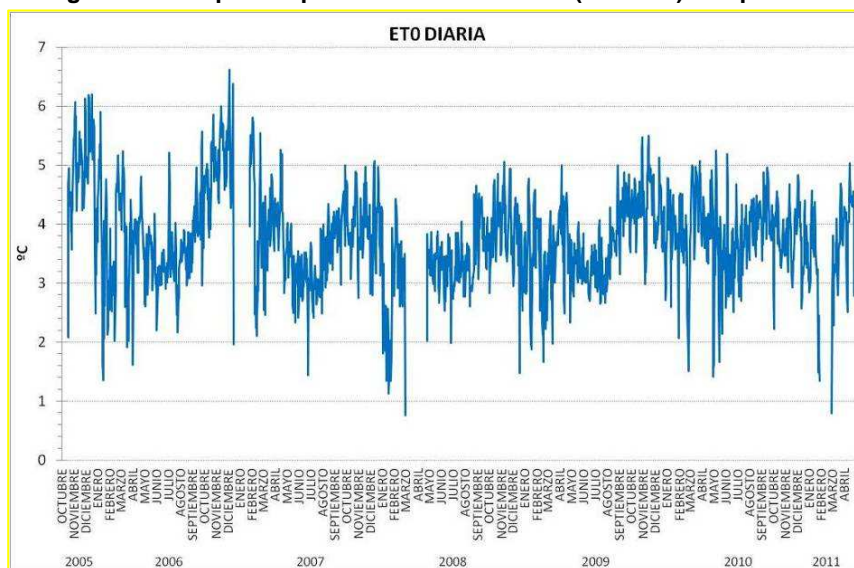
El requerimiento hídrico de las especies vegetales se define como la cantidad de agua necesaria para que una especie desarrolle su máximo potencial productivo, manteniendo todos los factores de producción en forma constante, por lo que su determinación requiere conocer la evapotranspiración de las plantas y la eficiencia de aplicación del agua de regadío.

2.2. Evapotranspiración potencial

La **evapotranspiración potencial (ET_p)**, permite estudiar la demanda de evapotranspiración de la atmósfera, independiente del tipo y desarrollo del cultivo o especie vegetal, y de las prácticas de manejo (FAO 56). Los únicos factores que afectan la ET_p son los parámetros climáticos; por lo tanto la ET_p puede ser calculada a partir de datos meteorológicos.

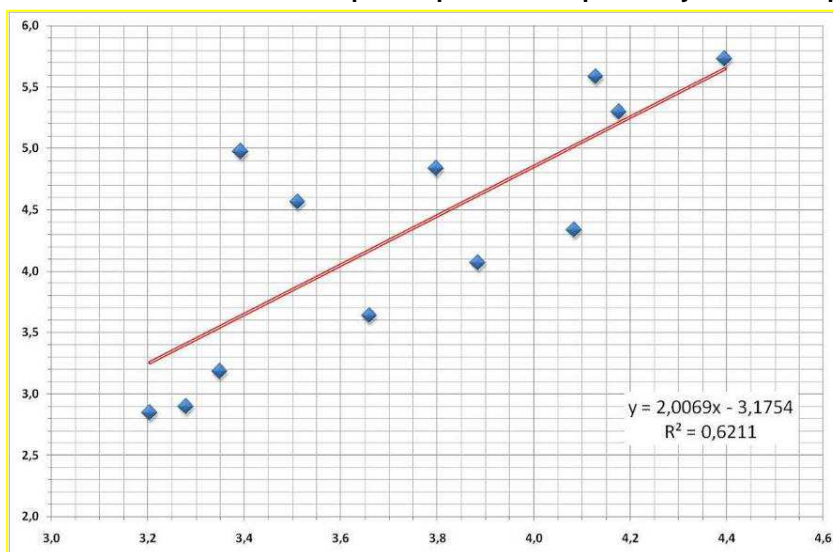
De hecho, la evapotranspiración potencial depende sólo de la demanda atmosférica, desarrollándose así una gran cantidad de modelos donde destacan los métodos empíricos de Blaney – Criddle, Penman – Montith, Radiación, Turk, evaporación de bandeja, etc. La figura 2.1 muestra el comportamiento de la ET_p medido en estación Pampa Puno, entre las temporadas octubre de 2005 y abril de 2011. La evapotranspiración potencial promedio al año es de 3,75 mm/día.

Figura 2.1. Evapotranspiración Potencial diaria (estación) Pampa Puno



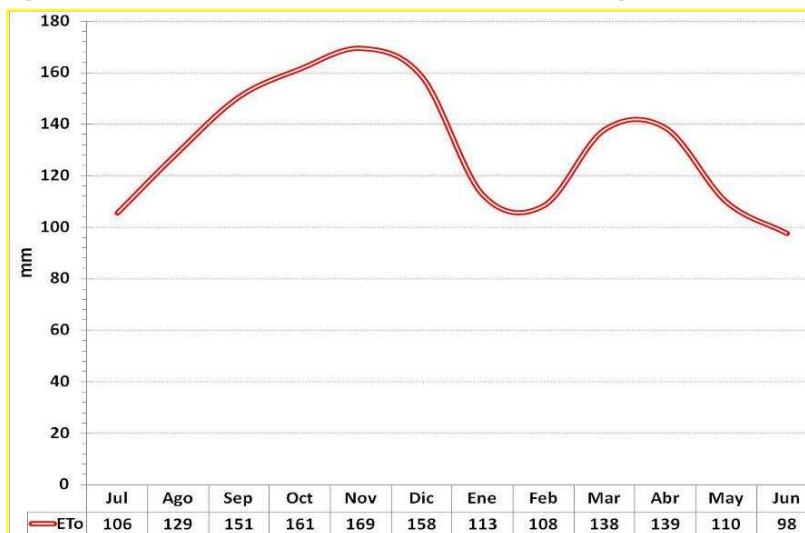
Debido al rango limitado de información disponible, además de existir lagunas de información, se consideró importante comparar la data presentada con otra existente de fuentes cercanas. En consecuencia, se correlacionó la información disponible con la estación meteorológica del Salar de Coposa (Figura 2.2), obteniendo un R^2 de 0,62.

Figura 2.2. Correlación datos de evapotranspiración Pampa Puno y Salar de Coposa



Con esta información se proyectó la evapotranspiración potencial para Pampa Puno la que se presenta en Figura 2.3. Esta información deberá ser ajustada durante el período de operación del sistema.

Figura 2.3. Evapotranspiración Potencial mensual corregida Pampa Puno



Con la información corregida se obtiene que la ETo promedio es de 4,32 mm/día/año. En Tabla 2.1 se muestra la ETo promedio/día y la ETo promedio/mensual.

Tabla 2.1. Evapotranspiración Potencial Pampa Puno.

MES	ETo (mm/día)	ETo (mm/mes)
Enero	3.6	113
Febrero	3.9	108
Marzo	4.4	138
Abril	4.6	139
Mayo	3.5	110
Junio	3.3	98
Julio	3.4	106
Agosto	4.2	129
Septiembre	5.0	151
Octubre	5.2	161
Noviembre	5.6	169
Diciembre	5.1	158
PROMEDIO	4.3	132

2.3. Evapotranspiración de las especies vegetales (ETc)

La evapotranspiración de las plantas, que refleja la demanda bruta de agua, tiene un componente climático y uno fisiológico, los cuales son representados por la siguiente ecuación:

$$ET_c = ETo \times Kc$$

Donde:

ET _c	=	Evapotranspiración de la especie vegetal	[mm/mes]
ET _o	=	Evapotranspiración potencial	[mm/mes]
K _c	=	Coeficiente de cultivo (en este caso de las unidades vegetacionales de la vega).	

La Dirección General de Aguas (DGA) ha realizado investigaciones sobre los humedales del Norte de Chile en cooperación con la Universidad de Chile para lograr estimaciones de los requerimientos hídricos de los sistemas de humedales en el altiplano chileno, estimando tasas de evapotranspiración y coeficientes de cultivo¹. En este contexto se estudiaron varias unidades vegetacionales en los bofedales de Isluga y Chungará consideradas representativas para el sistema de Vega Sapunta. Los valores de K_c asignados se señalan en tabla 2.2.

Tabla 2.2. K_c según unidad vegetacional y temporada

Unidad Vegetacional	Verano	Otoño	Invierno	Primavera
Vegetación tipo cojines	1,00	1,00	1,00	1,00
Transición 1	0,83	0,80	0,78	0,80
Vega bofedal 1	0,76	0,69	0,58	0,69
Transición 2	0,60	0,52	0,35	0,52
Vega bofedal 2	0,40	0,42	0,24	0,42
Promedio	0,72	0,69	0,59	0,69

Estos valores son las referencias iniciales a utilizar en el diseño del sistema y para la posterior gestión y manejo del riego en vega Sapunta. Para el diseño del proyecto se considerará un K_c = 1, valor que da un rango importante de sobre dimensión al proyecto.

2.4. Eficiencia y aplicación de agua de regadío

Cuando el agua sale de la boquilla del emisor de riego, el chorro se rompe en pequeñas gotas que tienden a mantenerse intactas por la tensión superficial con una forma esférica aplanada por la resistencia del aire.

¹ Análisis de requerimientos hídricos de vegas y bofedales en el norte de Chile, Carlos Salazar M. Ing. Jefe Dep. Estudios DGA, Luis Rojas B. Director Regional DGA I Región, Adrian Lillo Ing. Planificación DGA

Es esta resistencia del aire la que produce el fenómeno de evaporación y pérdida de una cantidad de agua. Adicionalmente, las gotas más pequeñas, producto de la desintegración del chorro tienden a “flotar” y parte de estas cae fuera del área de regadío. Parte del agua se pierde también por escurrimiento superficial y por escurrimiento dentro del suelo bajo la zona de raíces activas.

Normalmente, para un sistema de regadío por aspersión se estima que un 25% del agua aplicada se pierde. Este valor es aceptado por la Comisión Nacional de Riego de Chile. No obstante para este proyecto, y producto de la baja humedad relativa del aire en la zona, se estima que la eficiencia de aplicación de agua alcanza a un 70 %; es decir un 30% del agua aplicada se perderá principalmente por evaporación. Por consiguiente, la aplicación de agua bruta promedio para los distintos meses del año, se obtiene de la siguiente ecuación:

$$I = ET_p / E_f$$

En que I = Aplicación de agua en mm/día
 E_f = Eficiencia de aplicación

En tabla 2.3 se entrega los valores.

Tabla 2.3. Aplicación diaria de agua estimada por sistema Vega Sapunta

MES	ET _o (mm/mes)	ET _o (mm/día)
Enero	161	5.2
Febrero	155	5.5
Marzo	197	6.4
Abril	198	6.6
Mayo	157	5.1
Junio	140	4.7
Julio	151	4.9
Agosto	185	6.0
Septiembre	215	7.2
Octubre	231	7.4
Noviembre	242	8.1
Diciembre	226	7.3
PROMEDIO	188	6.2

2.5. Resultados

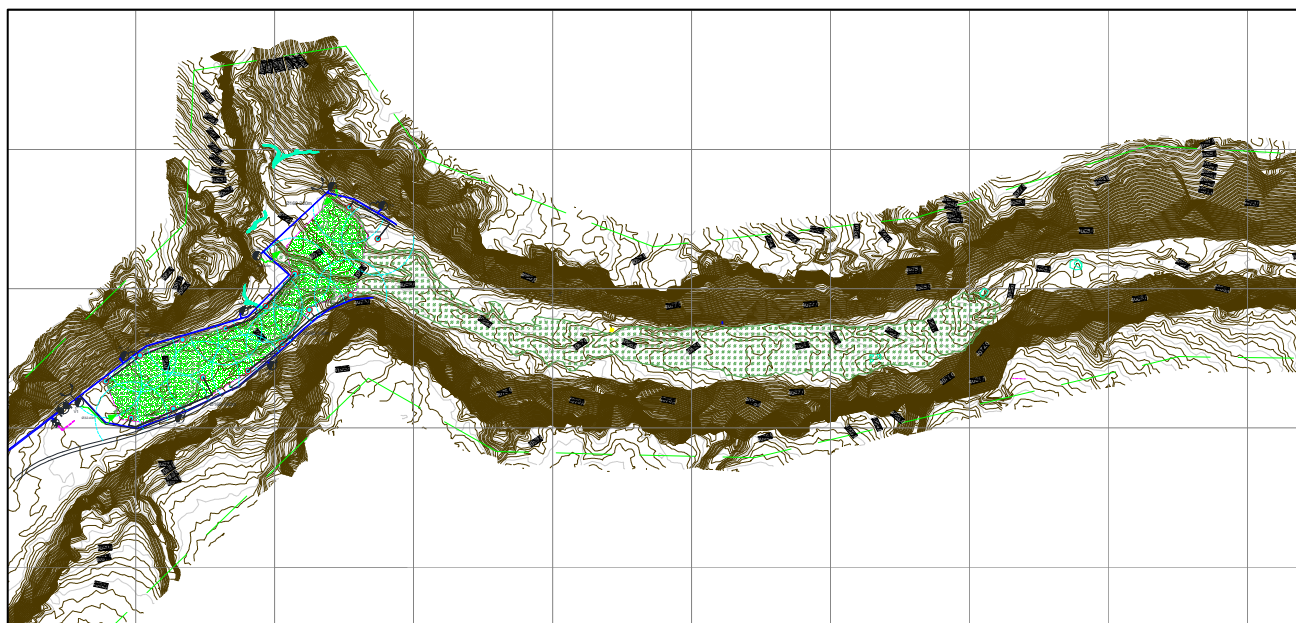
El requerimiento hídrico máximo obtenido corresponde al mes de noviembre lo que implica una aplicación de 8,1 mm/día y define el dimensionamiento del sistema de regadío. Este valor corresponde a 81 m³/ha/día ó lo que sería equivalente a 0,94 l/s/ha.

3. SISTEMA DE MITIGACIÓN VEGA SAPUNTA

3.1 ZONAS DE RIEGO POR ASPERSIÓN

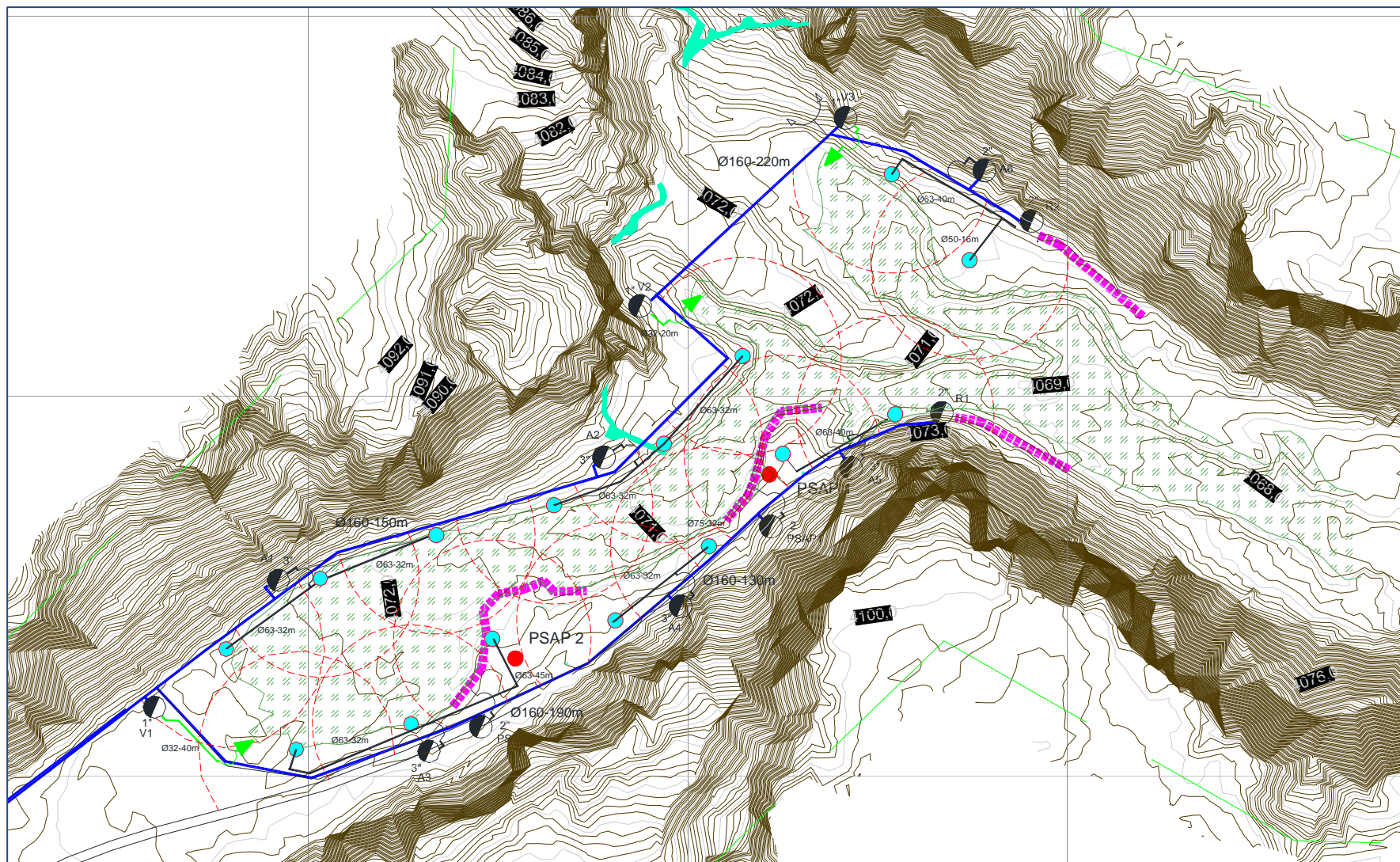
La zona de riego por aspersión corresponde al área de la vega que se encuentra sobre poza 1 y su superficie es aproximadamente 1 ha. Esta zona tiene depósitos aluviales importantes y la textura del suelo muestra un medio liviano con muy poca retención de agua en la zona radicular de las plantas. En Figuras N° 3.1 y 3.2 se presenta el área de riego por aspersión.

Figura 3.1. Área de riego por aspersión (color verde)



Cabe destacar que el caudal máximo promedio para el riego por aspersión es de 0,94 l/s/día durante el mes de noviembre.

Figura 3.2. Detalle área de riego por aspersión



3.1.1. Criterios de diseño

El desarrollo del proyecto consideró los siguientes aspectos:

- Selección de aspersores y disposición.
- Precipitación, aplicación de agua y tiempos de riego.
- Sectorización del sistema de regadío.
- Sistema de captación de agua de regadío.
- Red hidráulica de tuberías, válvulas y cálculo hidráulico.
- Filosofía de control y automatismo.

3.1.2. Selección de aspersores y disposición en terreno

El sistema de regadío por aspersión fue diseñado considerando que: *no deben construirse obras que afecten la vegetación, la intervención del bofedal debe ser mínima y no deben producirse impactos visuales que sugieran que el sistema se mantiene en forma artificial.* En consecuencia se definió el uso de aspersores emergentes de largo alcance. Estos aspersores son subterráneos, no se ven sobre la superficie del suelo y emergen solo durante el riego.

Se utilizará rotores marca Rain Bird línea Eagle de ángulo, alcance y caudal regulable. Estos emisores tienen la capacidad de soportar temperaturas extremas (hasta -30°C) sin sufrir deterioro, en la medida que lleve adicionado válvulas drenantes que vacían la carcasa al detener el riego para evitar roturas por efecto del congelamiento. De hecho estos elementos han sido instalados por TeknoRiego en el Salar de Coposa a 3.800 m.s.n.m y están en operación desde el año 2008 a la fecha sin deterioro.

Para el cálculo hidráulico y el distanciamiento entre rotores, se definió una operación de trabajo de 60 m.c.a. (84 PSI) en el emisor. Esta presión corresponde a una presión adecuada de operación para este tipo de regadores bajo la cual las gotas de agua no son mayormente pulverizadas. Con el objeto de maximizar la eficiencia y la uniformidad, se utilizará emisores autocompensados: cada uno de los rotores entregará el caudal de cálculo aunque la presión sea igual o mayor a la presión límite fijada. El emisor se presenta en figura 3.3. Los rangos hidráulicos de operación se presentan en tabla 3.1.

Figura 3.3. Emisor Eagle RB 950E



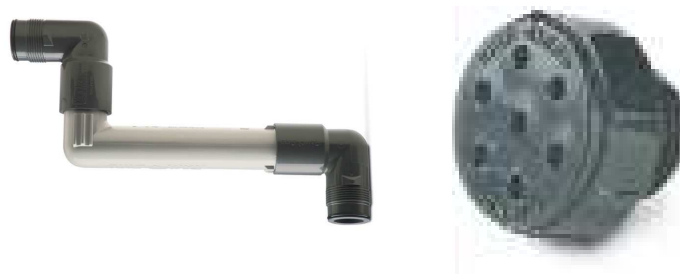
Tabla 3.1. Rangos operación emisor Emisor Eagle RB 950E

EAGLE 950 SERIES PERFORMANCE DATA — METRIC																					
NOZZLES																					
Base Pressure (bars)	#18 WHITE-C			#20 GRAY-C			#22 BLUE-C			#24 YELLOW-C			#26 ORANGE			#28 GREEN			#30 BLACK		
	Radius (m)	Flow (l/s)	Flow (m³/h)	Radius (m)	Flow (l/s)	Flow (m³/h)	Radius (m)	Flow (l/s)	Flow (m³/h)	Radius (m)	Flow (l/s)	Flow (m³/h)	Radius (m)	Flow (l/s)	Flow (m³/h)	Radius (m)	Flow (l/s)	Flow (m³/h)	Radius (m)	Flow (l/s)	Flow (m³/h)
4.1	21.3	1.23	4.43	21.9	1.45	5.22	22.6	1.67	6.02	23.2	1.94	7.00	23.8	2.27	8.18	—	—	—	—	—	—
4.5	21.7	1.29	4.64	22.3	1.52	5.48	22.9	1.75	6.29	23.8	2.03	7.32	24.4	2.36	8.50	25.2	2.62	9.44	25.2	2.90	—
5.0	22.1	1.37	4.93	22.7	1.61	5.81	23.5	1.85	6.66	24.7	2.15	7.75	25.1	2.49	8.95	25.8	2.78	10.00	25.8	3.03	10.92
5.5	22.5	1.44	5.19	23.2	1.70	6.12	24.4	1.95	7.01	25.6	2.27	8.16	25.6	2.61	9.41	26.2	2.98	10.72	26.2	3.18	11.43
6.0	22.8	1.51	5.44	23.6	1.78	6.40	24.8	2.04	7.34	26.5	2.38	8.56	26.0	2.70	9.73	26.9	3.04	10.93	27.1	3.29	11.85
6.5	23.0	1.58	5.68	24.0	1.86	6.69	25.3	2.12	7.64	27.1	2.48	8.93	26.5	2.83	10.18	27.4	3.16	11.37	27.7	3.42	12.30
6.9	23.2	1.63	5.86	24.4	1.92	6.93	25.6	2.18	7.86	27.4	2.56	9.20	26.8	2.95	10.61	27.7	3.29	11.86	28.0	3.52	12.67

Los emisores Eagle 950 serán utilizados con boquilla # 28 (green); a una presión de 6 bar el caudal de este aspersor es de 3,0 l/s y su alcance es de 26,9 m de radio. Estos emisores son regulables entre 30° y 330°.

Los emisores deberán ser instalados con swing joints y válvulas de drenaje en cada unidad indicada en figuras 3.4. Se requerirá un pequeño pozo de ripio o/y arena para el desagüe de estos elementos.

Figura 3.4. Swing Joint y válvula de drenaje Eagle RB 950E



El lay-out o disposición de los aspersores en el bofedal, consideró los siguientes aspectos más relevantes:

- La aplicación de agua de regadío uniformemente a través del área regada. La distribución de uniformidad de agua de riego variará entre un 80% y un 86% (Coeficiente de uniformidad de Christiansen 85% a 91%).
- En consideración a que la velocidad y dirección del viento no son variables controlables, su efecto en la uniformidad de regadío puede ser muy significativo, por lo tanto el sistema fue diseñado anticipando condiciones de viento moderadas definiendo el horario de riego entre las 7:00 y las 13:00. En consecuencia el máximo espaciamiento recomendado entre aspersores será de 60% del diámetro mojado.

En figura 3.2 se muestra la disposición de los regadores en sistema Vega Sapunta.

3.1.3. Precipitación, aplicación de agua y tiempos de riego

En Cuadro 3.2 se indica la precipitación promedio para cada configuración y los tiempos de riego requeridos para la aplicación de agua que se necesita durante el mes de noviembre (máxima demanda).

Cuadro 3.2. Precipitación promedio para distintas configuraciones y tiempos de riego (Presión de operación 84 PSI)

Emisor de Riego	Disposición cuadrado (m)	Disposición triangular (m)	Ángulo de giro (grados)	Precipitación (mm/hr)	Tiempo riego (min/día)
Eagle 950	31 x 31		250°	20,0	25
		31 x 31	250°	23,0	21

3.1.4. Sectorización del sistema de regadío

La sectorización del sistema de riego se detalla en Cuadro 3.3. Se observa que el tiempo total de riego por día, para el mes de noviembre de máxima demanda, alcanza a 2 horas y 22 minutos. Esto define la ventana de regadío.

El sistema de riego por aspersión, en especial su capacidad de conducción y automatización, fue diseñado para permitir aumentar la superficie de riego a toda la vega en caso de ser necesario.

Cuadro 3.3. Zonas de riego, precipitación y tiempos de riego

Zona de Riego	Nº Aspersores	Disposición	Caudal unitario (l/s)	Caudal total (l/s)	Tiempo de Riego (min/día)
A1	3	Cuadrado	3,04	9.12	25
A2	3	Triangular		9.12	21
A3	3	Cuadrado		9.12	25
A4	2	Triangular		6.08	21
A5	2	Cuadrado		6.08	25
A6	2	Cuadrado		6.08	25

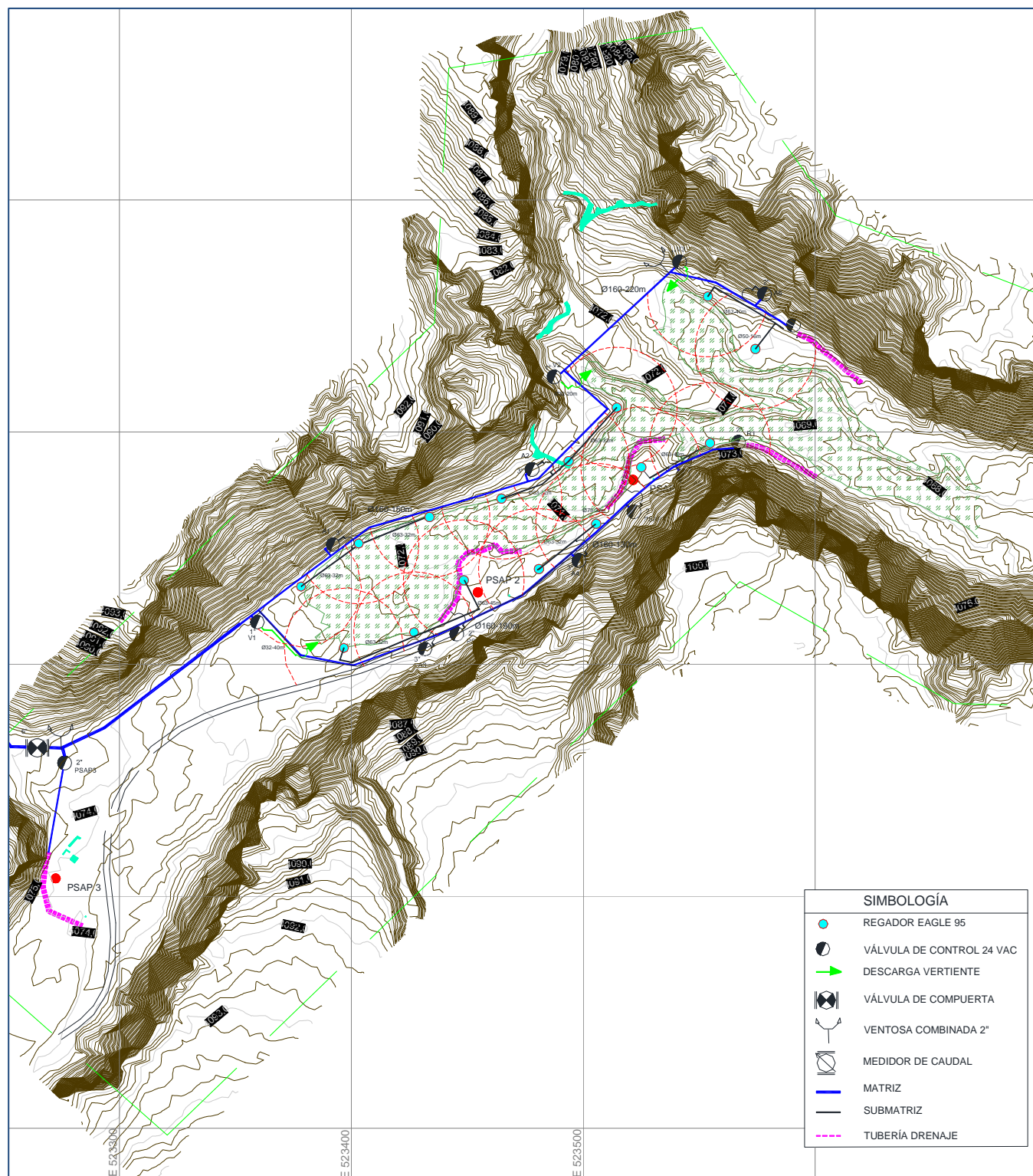
3.2. VERTIENTES, SURGENCIAS Y RECARGA VEGA SAPUNTA

Se considera el abastecimiento de agua de modo de suplir surgencias o afloramientos distribuidos según se indica en plano de proyecto y permitir el libre escurrimiento de agua sobre la vega y la mantención de los niveles históricos. Para el cálculo del sistema de abastecimiento de agua, se supondrá un caudal máximo de 10 l/s como se indicó en la Adenda 3 del EIA del Proyecto Pampa Puno.

Con el objeto de facilitar la mantención de los niveles históricos, se considera asimismo la instalación de un sistema de recarga en sentido longitudinal al eje de la vegetación (figura 3.5) para el caso de la vega sin contemplar trabajos dentro del área de vegetación. Asimismo se considera recarga en PSAP 1, 2 y 3

La operación del sistema de riego por aspersion será autónoma pero diferida del sistema de recarga.

Figura 3.5. Ubicación sistema para recarga



3.2.1 Capacidad de recarga

La capacidad de recarga que presenta el sistema, depende del coeficiente de conductividad hidráulica del suelo. En un sistema en equilibrio, el valor del potencial hidráulico tiene el mismo valor en todos sus puntos. Cuando el sistema no está en equilibrio, el gradiente de potencial provoca la aparición del movimiento del agua. Este movimiento se realiza de dos formas:

Flujo en suelo saturado. Los poros del suelo están llenos de agua, como ocurre en el caso de una capa freática como corresponde a Vega Sapunta.

Flujo en suelo no saturado. Es el que ocurre en suelos donde existen procesos de humectación y desecación. En este caso la conductividad hidráulica se evalúa a partir de la velocidad de infiltración, la cual varía según el tipo de suelo y según el contenido en humedad que presente.

De acuerdo a estudios realizados, a la revisión bibliográfica y documentación existente, el valor mínimo de permeabilidad corresponde a una mezcla de arena/limo de 1:3 y es de 25,1 m/día. Se tomará este valor para el diseño que corresponde a 1,045 m/hr.

La capacidad de recarga queda dada por la fórmula siguiente:

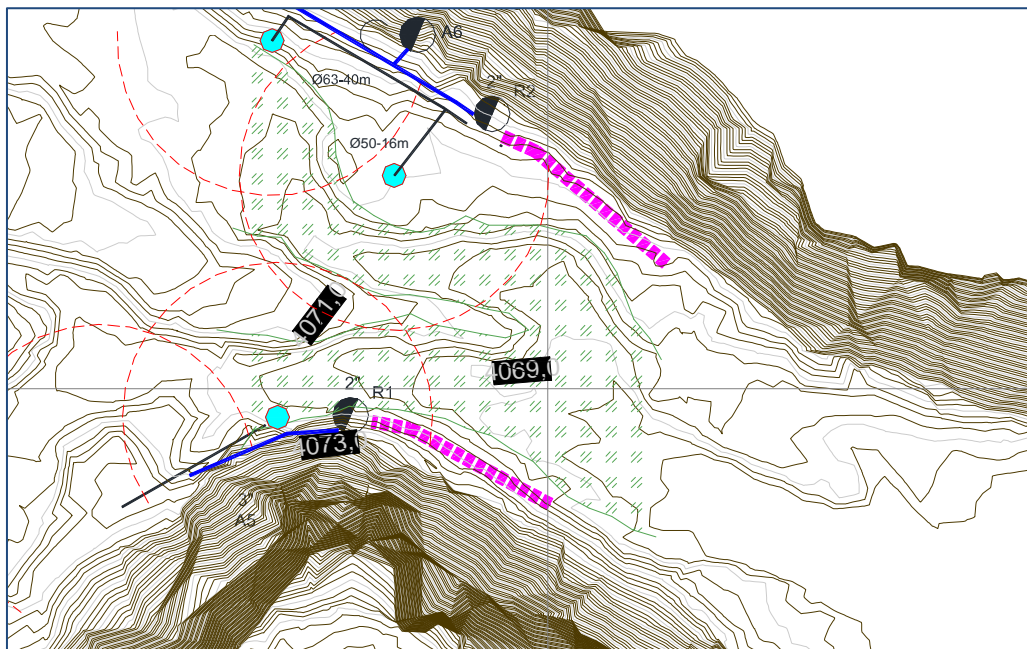
$$VR = LD * PZ * CH$$

Donde:

VR	= Volumen de recarga (m ³ /hr)
LD	= Longitud del dren (m)
PZ	= Perímetro zanja (m)
CH	= Conductividad hidráulica (m/hr)

En el caso de la vega, y con el objeto de dar un margen de seguridad se contempla la instalación de un sistema de recarga de 30 m a cada costado de esta según se muestra en figura 3.6.

Figura 3.6. Detalle sistema para recarga de vega



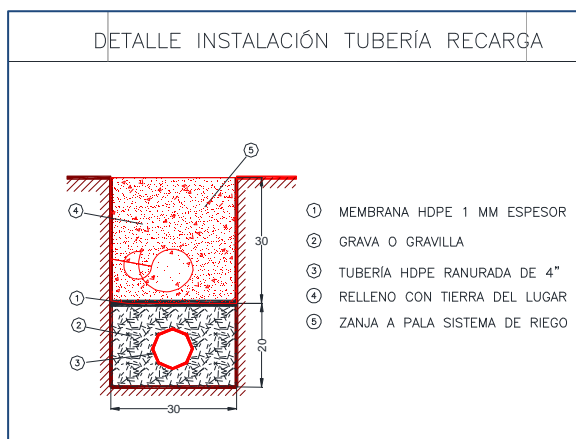
3.2.2. Instalación de tuberías y equipos

El abastecimiento para cada una de las surgencias y afloramientos se realizará en tubería de HDPE de 32 mm. El punto de entrega se bifurcará en varias salidas para simular vertientes naturales. Todas las salidas serán camufladas con terreno y piedras locales para evitar que se vean los elementos y simular naturalidad en el proceso.

El tapado de las excavaciones se realizará evitando que piedras de más de 1" queden en contacto con la tubería y se exigirá 2 capas de compactado. El afinamiento final se realizará con rastrillo de modo de borrar toda evidencia de excavaciones.

Para el sistema de recarga, se contempla una zanja "a pala" cuyas medidas aproximadas son 50 cm de profundidad por 30 cm de ancho, se instalará una tubería de HDPE ranurada de 3" PN 10. Los espacios entre esta tubería y la zanja (20 cm de profundidad) serán rellenos con material grueso o eventualmente grava o gravilla. Sobre esta capa se instalará una membrana de HDPE de 1 mm de espesor para evitar que el agua que exudará la tubería ranurada aflore a la superficie y para forzarla a redistribuirse en profundidad. En figura 3.7 se muestra el modo como se instalará esta tubería, la que será controlada por 1 válvula de control. Todos los trabajos serán realizados de modo tal que no intervengan el sistema natural y no sean visibles en ninguna magnitud.

Figura 3.7. Detalle instalación tubería de recarga



3.2.3. Válvulas de corte y sectorización y medición de caudal

La red considera para cada uno de los arranques la instalación de una válvula reguladora de caudal, válvulas de corte y regulación manuales y un medidor de caudal de 1" para la regulación fina del caudal de entrega. Todas estas válvulas y el caudalímetro serán instaladas en cámaras de registro de polipropileno.

3.2.4. Sistema de control

El sistema de recarga está controlado por una válvula solenoide de 2" la que a su vez está asociada al sistema de control que se describe más adelante. A su vez se considera válvulas de control de flujo y caudalímetro de monitoreo de volúmenes recargados.

4. AUTOMATIZACIÓN, INSTRUMENTACIÓN Y FILOSOFÍA DE CONTROL

4.1. Sistema de automatización

Dado el emplazamiento de los sectores de riego y los últimos avances en tecnología de control, se ha optado por utilizar un sistema de control basado en decodificadores permitiendo una programación directamente desde este controlador, en forma rápida y sencilla. De esta forma se obtendrá una automatización de toda la vega, con la máxima flexibilidad para su implementación y con la mayor versatilidad para futuras modificaciones y construcción por etapas ó futuras ampliaciones.

El sistema utiliza la tecnología de comunicación con 2 conductores y decodificadores enterrados en terreno. Se utilizará un cable blindado de 2 x 2,5 a lo largo de la matriz y 2 x 1,5 en la instalación de la vega. La comunicación es de bajo voltaje (24 VAC máximo). Los decodificadores recibirán las señales enviadas por el Control Central activando las válvulas solenoides asociadas a los correspondientes sectores de regadío, vertientes o/y recarga. El tipo de automatismo diseñado presenta una serie de ventajas comparativas a otros sistemas similares de automatización:

- Provee una instalación flexible, una expansión prácticamente ilimitada de sectores y una infinidad de cambios a través de la programación.
- No existen elementos sobre la superficie del suelo a lo largo del terreno.
- Los decodificadores enterrados bajo terreno, son completamente impermeables, libres de corrosión, con resistencia a temperaturas extremas bajo cero.

Los eventos de partida y parada del riego, serán registrados por un PLC para registro y envío eventual a Sala de Control.

4.1.1. Sistema de decodificadores

El Layout del tendido de comunicación se hará utilizando una topología-configuración en Estrella con dos sendas independientes que separa la vega en dos zonas. El dimensionamiento de este tendido es muy conservador, permitiendo cambios posteriores sin comprometer el sistema instalado.

Se utilizarán decodificadores Rain Bird, modelos FD-101 y FD-201, considerando las distintas combinaciones y el diseño propuesto. También se considera el uso de decodificadores para la señal de control de Partida y válvula maestra. Debido a que la zona está expuesta a tormentas eléctricas, se considera la implementación de sistemas que aterren toda la red de automatización. Para esto se instalará 20 decodificadores LSP con barras cooper de 1 m de profundidad.

Figura 4.1. Decodificadores de terreno y válvula de control



4.1.2 Válvulas de control

Se utilizará válvulas de control con solenoide de 24 VAC de 3" para cada uno de los sectores de riego. El modelo a utilizar es válvulas Rain Bird de bronce modelo 300 BPES capaz de resistir temperaturas hasta -30°C (estas válvulas se encuentran instaladas en el sistema de riego del Salar de Coposa desde el año 2008 sin problemas ni mantenimiento).

No obstante, se deberá instalar aguas arriba de la válvula de control un dispositivo para drenar la tubería matriz al detener el sistema. La pérdida de presión de esta válvula para los caudales indicados es de 2 m.c.a. Para las vertientes y afloramientos se utilizará válvulas solenoides con control de presión de 3 vías de 1" de diámetro. La válvula maestra en el inicio de la matriz de riego es de 8".

4.2. Instrumentación y control

El sistema de riego contempla como instrumentación un flujómetro electromagnético instalado en la línea principal a la salida de la derivación de la impulsión, un sensor de conductividad y de pH y un transmisor de presión. Las lecturas de estos instrumentos serán almacenadas y registradas en un PLC y podrán ser obtenidas por un computador portátil. Asimismo se contempla enviar por telemetría los registros a una Sala de Control.

4.3. Filosofía de Control

La filosofía de control considera los aspectos de Partida, Operación y Parada del sistema de mitigación. Estos se regirán por la interacción entre el Control Central, los Tableros de Control y las válvulas automáticas. Se utilizará un programa asociado a una generación de condiciones permisivas de operación a partir del monitoreo de señales de presión, conductividad y caudal.

4.3.1 Partida del sistema

La partida del sistema será comandada automáticamente por el Controlador. Al dar inicio del ciclo de regadío, una señal es enviada a la válvula maestra y a las válvulas de control dando la señal de partida. Las partidas de las válvulas serán efectuadas en forma secuencial evitando consumos elevados y asegurando una vida útil más prolongada para los equipos. En caso de detectarse algún problema en la activación de las válvulas, una alarma indicará el status en el Tablero de Control.

4.3.2. Parada del sistema

La parada normal del sistema está asociada al término del ciclo de riego, vertientes o/y recarga, al discontinuarse la señal del proveniente del Control Central. El sistema también se detendrá automáticamente en los siguientes casos:

- a) El transmisor de presión detecta una baja o alta de presión del sistema.
- b) El medidor de caudal detecta un alza de caudal por sobre un umbral definido.
- c) El conductivímetro detecta en alza en la salinidad del agua

Estos umbrales serán ajustados durante el proceso de Puesta en Marcha del sistema.

4.4. Tableros eléctricos y de control

Los tableros eléctricos y de control serán instalados en un contenedor refaccionado de 20" el cual será climatizado y tendrá un sector equivalente a 1/3 (2 m x 2,4 m) que será destinado a Sala Eléctrica de Riego. El cableado y energización será realizado desde la Sala Eléctrica correspondiente a la impulsión de pozos Sur y estará a cargo de PMH.

5. SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA

Los sistemas descritos, consideran utilizar la impulsión existente en campos de pozos Sur y recursos hídricos provenientes del acuífero Pampa Puno. De acuerdo a información entregada por Codelco, la altura de elevación será de 6 bares. Codelco deberá dejar una derivación en 6" con una válvula de compuerta de paso para independizar la red de riego de la impulsión desde el estanque de carga.

El punto máximo de trabajo (Caudal instantáneo) será el siguiente:

- | | |
|--------------------------------|--------------|
| a) Riego por aspersión | Q= 9,12 l/s |
| b) Pozas, surgencias y recarga | Q= 10.00 l/s |

5.1. Elementos adicionales

A la salida de la derivación en la matriz de regadío, se instalará un medidor volumétrico de agua de riego de 6" electromagnético. Este medidor permitirá una lectura instantánea y acumulativa de los volúmenes de agua utilizados para regadío. Este medidor cumple además la función de detectar tuberías rotas y filtraciones en caso de existir. La lectura será llevada a un tablero de control, registrada en un PLC y podrá ser enviada eventualmente vía telemetría a una Sala de Control.

Previo al medidor de caudal, se instalará una válvula automática de control de 6", la cual se mantendrá abierta solo cuando el sistema de mitigación este operativo.

5.2 Red hidráulica, diseño y cálculo

Se considera para este proyecto utilizar una red de tuberías de HDPE PN 10. Los diámetros de las tuberías como asimismo la disposición de válvulas del sistema y la instalación de ventosas de doble propósito se muestran en el Plano Ingeniería y Diseño Sistema de Riego.

Todas las tuberías de diámetros 160 a 110 mm serán unidas por termofusión. Las tuberías de menor diámetro serán unidas por uniones roscadas y todas las derivaciones deberán ser realizadas con fitting roscado.

5.3 Cálculo hidráulico

Para realizar el cálculo hidráulico de pérdidas de carga, se utilizó la fórmula de Hazen Williams y el software de cálculo WCADI. En el cuadro 5.1 se indica las memorias de cálculo y presiones de trabajo en aspersores.

5.4. Fenómenos transientes

La magnitud de las presiones por golpe de ariete, es función de la celeridad de onda de presión, el cambio de velocidad en el sistema, la aceleración de gravedad y el tiempo de detención de la bomba en el caso de una impulsión. Para el estudio de las envolventes de presiones tanto negativas como positivas, se utilizó la metodología indicada por J. Parmakian en su libro " Waterhammer Analysis". Para efecto del presente análisis, se considerará la detención de las bombas por corte de energía, como la situación más desfavorable.

La verificación de golpe de ariete se realizó para las condiciones más desfavorables de las impulsiones concluyendo que la sobre presión máxima está en los rangos de seguridad aceptados para tuberías, no existiendo el riesgo de cavitación y no requiriendo de sistemas de protección para los transientes producto del golpe de ariete causado por la detención repentina de las bombas por corte de energía. No obstante el cálculo de golpe de ariete deberá ser revisado con la topografía o perfil de detalle de la línea de impulsión.

Cuadro 5.1. Memorias de cálculo

VERIFICACIÓN RIEGO MATRIZ CONDUCCIÓN ZONA A6												
PRESIÓN DISPONIBLE m.c.a						60						
CAUDAL L/S						10						
km	LONG.	ø Nom.	ø int.	Mat.	DERIV.	C	Q (m³/sg)	VELOC.	J UNIT. (m/Km)	COTA	PIEZ.	PRESIONES m.c.a. p.s.i.
0.0000					Estanque sur	135	0.01000			4104.50	4159.5	55.00 78.57
3.0330	3.0330	160	0.141	HDPE PN10	Estación carga pozos norte	135	0.01000	0.639	3.32	4115.00	4149.4	34.43 49.19
4.0920	1.0590	160	0.141	HDPE PN10	Pozo 11B	135	0.01000	0.639	3.32	4081.50	4145.9	64.42 92.03
5.4920	1.4000	160	0.141	HDPE PN10	V1	135	0.01000	0.639	3.32	4072.75	4141.3	68.52 97.89
5.8620	0.3700	160	0.141	HDPE PN10	Zona A6	135	0.01000	0.639	3.32	4072.00	4140.0	68.04 97.20

VERIFICACIÓN RIEGO MATRIZ CONDUCCIÓN ZONA A3												
PRESIÓN DISPONIBLE m.c.a						60						
CAUDAL L/S						10						
km	LONG.	ø Nom.	ø int.	Mat.	DERIV.	C	Q (m³/sg)	VELOC.	J UNIT. (m/Km)	COTA	PIEZ.	PRESIONES m.c.a. p.s.i.
0.0000					Estanque sur	135	0.01000			4104.50	4159.5	55.00 78.57
3.0330	3.0330	160	0.141	HDPE PN6	Estación carga pozos norte	135	0.01000	0.639	3.32	4115.00	4149.4	34.43 49.19
4.0920	1.0590	160	0.141	HDPE PN10	Pozo 11B	135	0.01000	0.639	3.32	4081.50	4145.9	64.42 92.03
5.4920	1.4000	160	0.141	HDPE PN10	V1	135	0.01000	0.639	3.32	4072.75	4141.3	68.52 97.89
5.8120	0.3200	160	0.141	HDPE PN10	Zona A5	135	0.01000	0.639	3.32	4070.00	4140.2	70.21 100.30

5.5 Válvulas de corte y sectorización

La red considera la existencia de válvulas de corte de seguridad de 3", 2" y 1" para cada una de las válvulas de control para independizar en caso de fallas y permitir reparaciones. Todas estas válvulas serán instaladas en cámaras de registro de polipropileno.

5.6 Válvulas de aire de doble propósito

En los puntos altos se especifica válvulas de aire de doble propósito de 2" y a lo menos cada 300 metros sobre la matriz debido a las bajas velocidades de flujo. Por tanto permitirán la salida del aire acumulado en las tuberías y la entrada de aire para evitar el fenómeno de succión interno en las tuberías.

Se logra de este modo seguridad en el llenado de la red y la liberación de posibles bolsones de aire en la operación del sistema. Se utilizará válvulas marca BERMAD de 2" modelo 02-ARC de cuerpo metálico o similar.

Previo a la ventosa se instalará una válvula de bola de corte PN 16 para permitir mantenimiento.

6. INSTALACIÓN Y CONSTRUCCIÓN RED HIDRÁULICA

6.1 Tubería de impulsión

La matriz que abastecerá de agua a vega Sapunta corresponde según cálculo hidráulico, a una tubería de HDPE de 160 mm PN 10. Esta tubería deberá ser enterrada a una profundidad mínima de 0,7 m sobre la clave para evitar congelamiento. El trazado considerado es paralelo al acueducto entre campo de pozos Norte y campo de pozos Sur para continuar a un costado del camino que conduce a vega Sapunta.

Se considera excavación con excavadora y apoyo para tapado con máquina retroexcavadora.

6.2 Red de Tuberías vega Sapunta

Las características de la Vega Sapunta impiden una intervención mayor en su entorno. En este contexto se hace imposible realizar las excavaciones requeridas para enterrar la tubería con maquinaria. En consecuencia, todas las excavaciones deberán ser realizadas “a pala” teniendo especial cuidado en no dañar la vegetación existente, buscando un trazado adecuado para estos fines.

Debido a esto y a la imposibilidad de lograr profundidades de excavación mayores a 0,5 m, se ha definido el uso de tuberías de HDPE. Todas las matrices y submatrices serán de tubería de HDPE PN 10. Se intentará lograr una profundidad de zanja de 0,5 m para las matrices llegando a un mínimo de 0,4 m. Para las submatrices se exigirá una profundidad mínima de 0,3 m.

Las tuberías eléctricas para tendido de cables de control (24 VAC) serán de PVC conduit clase III. Estas tuberías serán instaladas al costado interior de las matrices cuidando de evitar los entrecruces.

El tapado de las excavaciones se realizará evitando que piedras de más de 1” queden en contacto con la tubería y se exigirá 2 capas de compactado. El afinamiento final se realizará con rastrillo de modo de borrar toda evidencia de excavaciones.

6.3 Cámaras de válvulas

Todas las válvulas serán protegidas por cámaras de válvulas de polipropileno de acuerdo a figura 6.1.

Figura 6.1 Cámara de válvula tipo



Sus dimensiones superiores (abertura) son 74 x 42 cm con una altura de 45 cm. Al instalar la cámara, la parte superior deberá quedar a nivel de terreno.

No se realizarán obras de hormigón.